

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра автоматики та управління в технічних системах**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.І. Ролік

«___» _____ 2019 р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра
з напрямку підготовки 6. 050201 «Системна інженерія»
на тему: «Автоматизована система керування технологічним процесом
виробництва йогурту»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ІА-52

Регета Дар'я Сергіївна _____

Керівник:

Асистент Шимкович В. М. _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2019 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра автоматики та управління в технічних системах

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки – 6. 050201 «Системна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.І. Ролік

« ____ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Регети Дар'ї Сергіївни

1. Тема проекту «Автоматизована система керування технологічним процесом виготовлення йогурту», керівник проекту асистент Шимкович Володимир Миколайович, затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 2019 р. № _____

2. Термін подання студентом проекту _____ 19.06.19 _____

3. Вихідні дані до проекту продуктивність системи – 1000 л/год, температура на вході – від 5 °С до 10 °С, температура пастеризованого молока – від 90 °С до 95 °С, температура молока для сквашування – 42 °С, температура гарячої води – від 70 °С до 99 °С. _____

4. Зміст пояснювальної записки Вступ, огляд наявних рішень, розробка схем, пошук окремих вузлів та елементів, розробка алгоритму роботи, проведення розрахунків регулятора. _____

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Структурна схема, функціональна схема, схема алгоритму роботи, графіки з matlab. _____

7. Дата видачі завдання _____ 14.03.19 _____

Календарний план

№ з/ п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Обґрунтування вибору теми	11.03.19 – 24.03.19	
2	Огляд і аналіз існуючих рішень	25.03.19 – 25.04.19	
3	Розробка структурної схеми	26.04.19 – 2.05.19	
4	Розробка функціональної схеми	3.05.19 – 14.05.19	
5	Вибір окремих вузлів та елементів	15.05.19 – 21.05.19	
6	Розробка алгоритму роботи	22.05.19 – 28.05.19	
7	Вибір закону регулювання та розрахунки	29.05.19 – 4.06.19	
8	Аналіз результатів	5.06.19 – 11.06.19	
9	Оформлення дипломного проекту	12.06.19 – 13.06.19	

Студент

Регета Д. С.

Керівник проекту

Шимкович В. М.

АНОТАЦІЯ

Регета Д.С. Автоматизована система керування технологічним процесом виробництва йогурту. КПІ ім. І.Сікорського, Київ, 2019.

Проект містить 62 с. тексту, 32 рисунки, посилання на 13 літературні джерела та 4 конструкторські документи.

Ключові слова: датчик, йогурт, керування, контролер, молоко, система.

У даній роботі було розроблено автоматизовану систему керування технологічним процесом виробництва йогурту. Для цього було проаналізовано технологічний процес виготовлення йогурту та проведено огляд існуючих рішень. Також було обрано та описано виконавчі пристрої, датчики та контролер. Розроблено структурну схему системи, функціональну схему системи та алгоритм роботи системи керування технологічним процесом. Також було проведено розрахунки регулятора.

SUMMARY

Reheta D.S. Automated control system for technological process of yoghurt production. Igor Sikorsky KPI, Kyiv, 2019.

The project contains 62 text pages, 32 pictures, links to 13 literary sources and 4 design documents.

Keywords: sensor, yoghurt, control, controller, milk, system.

In this work developed an automated control system for technological process of yoghurt production. For this purpose? The technological process of making yoghurt analyzed and a review of existing solutions carried out. Also, actuators, sensors and controller were selected and described. The structural scheme of the system, the functional scheme of the system and the algorithm of the operation of the control system of the technological process developed. Also, the calculations of the regulator were carried out.

Номер	Формат	Позначення			Найменування	К-ст листів	Номер	Примітки				
1					Документація загальна							
2												
3					Знову розроблена							
4												
5	A4	IA52.230БАК.005 ПЗ			Пояснювальна записка	61						
6	A3	IA52.230БАК.005 Э1			Схема структурна	1						
7	A3	IA52.230БАК.005 Э2			Схема функціональна	1						
8	A3	IA52.230БАК.005 Д1			Алгоритм роботи	1						
9	A3	IA52.230БАК.005 Д2			Розрахунки регулятора	1						
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
Зм.	Арк	№ докум.	Підп	Дата								
Розроб.		Регета Д.С.										
Перевір.		Шимкович										
Н.контр.												
Затв.												
						Літер.		Арк	Аркушів			
						Т		1	1			

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Автоматизована система керування
технологічним процесом виробництва йогурту»**

Київ – 2019 рік

ЗМІСТ

Перелік скорочень	4
Вступ.....	5
1 Призначення та область застосування проектованої системи.....	7
2 Технічні характеристики	8
3 Огляд наявних рішень.....	9
3.1 Технологічний процес.....	9
3.2 Огляд наявних рішень.....	14
4 Розробка структурної схеми.....	24
5 Розробка функціональної схеми	26
6 Вибір та обґрунтування окремих вузлів і елементів	29
6.1 Вибір датчика температури	29
6.2 Вибір датчика тиску	29
6.3 Вибір витратомірів	30
6.4 Вибір датчика кислотності	31
6.5 Вибір клапанів	32
6.6 Вибір насосу.....	35
6.7 Вибір мішалки з електроприводом.....	37
6.8 Вибір контролера.....	38
6.9 Вибір модулів вводу/виводу.....	40

					<i>IA52.230БАК.005.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			
Розроб.		Регета Д. С.			Автоматизована система керування технологічним процесом виготовлення йогурту Пояснювальна записка		
Перевір.		Шимкович В.М.					
Т.контр.							
Затвер.							
					Літера	Аркуш	Аркушів
					Т	2	62
					НТУУ «КПІ ім.І.Сікорського» ФІОТ Група ІА-52		

7	Розробка програмного забезпечення.....	43
8	Вибір закону регулювання та розрахунок параметрів регулятора	50
	Висновки	60
	Список використаних джерел	61

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУ – автоматизована система управління

ТП – технологічний процес

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

ПЛК – програмований логічний контролер

АСУП – автоматизована система управління підприємством

					ІА52.230БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

На сьогоднішній день передові підприємства використовують автоматизовані системи керування технологічними процесами. Це дає змогу виготовляти більшу кількість продукції, підвищити якість цієї продукції та зменшити вплив людського фактору на технологічний процес.

За останні роки молочна промисловість набирає обертів в Україні. Молочні продукти становлять значну складову раціону людей, вони використовуються в багатьох стравах та в різному вигляді. Найбільшу користь приносять кисломолочні продукти, за рахунок корисних бактерій. Популярним продуктом в даний час є йогурт, тому що він буває різних видів та з різним смаком. Йогурт випускають таких видів: йогурт без цукру, солодкий йогурт, плодово-ягідний, йогурт з додаванням вітаміну С та діабетичний йогурт. Найбільш корисним вважається йогурт без додавання наповнювачів, тому в цій роботі буде розглядатись технологія його виготовлення.

Для виготовлення йогурту потрібно багато часу, тому що заквашування молока займає від 4-х до 8-ми годин. Відповідно, вартість продукту зростає, особливо якщо виготовляти його в невеликих кількостях за участі людської робочої сили. Також, на якість продукту сильно впливатиме людський фактор. Тому, для того щоб виготовляти великі об'єми продукції високої якості, доцільно використовувати автоматизовану систему керування технологічним процесом. Така система дає змогу керувати процесом виготовлення продукції за допомогою контролера та певних датчиків, тобто без участі людини.

Для даного технологічного процесу потрібно автоматизувати процес пастеризації молока, а саме: нагрівання, очищення, витримка молока та подальше охолодження, далі завантаження пастеризованого молока в резервуар для сквашування, додавання закваски в молоко за допомогою спеціального насосу-дозатора та одночасне перемішування суміші, після цього процесу виконується підтримання температури сквашування та слідкування за кислотністю продукту, після отримання певного рівня кислотності відбувається охолодження отриманого йогурту та подача готового продукту на фасування.

					IA52.230БАК.005 ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	А...	№ докум.	Підпис	Дата		

Також автоматизується система слідкування за неполадками під час процесу виготовлення продукції.

Метою роботи є підвищення ефективності роботи лінії по виготовленню кисломолочних продуктів за рахунок автоматизації її технологічного процесу.

Для досягнення мети були вирішені такі задачі:

- визначення технології виробництва;
- огляд існуючих рішень;
- розробка структурної схеми;
- розробка функціональної схеми;
- вибір окремих вузлів та елементів
- вибір системи контролю;
- розробка щита управління;
- виконання розрахунків робочих контурів.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ

Система що розробляється призначена для автоматизації технологічного процесу з виготовлення йогурту. Тобто вона керує етапами виготовлення йогурту, а саме пастеризації молока та заквашування йогурту. Для цього використовуються датчики контролю різних параметрів. Датчик температури потрібен для того щоб слідкувати за температурою в резервуарах, адже вона повинна підтримуватись відповідно до стандарту, так само потрібен датчик тиску в резервуарах. Під час процесу сквашування необхідний вимірювач кислотності, він дає змогу слідкувати за процесом сквашування і визначити коли цей процес закінчиться. Для переміщення речовини з одного резервуару в інший використовуються клапани та насоси. Для контролю кількості речовини до клапанів підключаються витратоміри. Таку систему регулює контролер, а людина лише слідкує за процесом роботи і виправляє неполадки, про які повідомляє контролер.

Йогурт – пастоподібний кисломолочний продукт з коров'ячого молока, заквашеного з додаванням спеціальних бактерій і фруктових есенцій. Компоненти і ферменти, які містяться в йогурті допомагають покращити процес травлення в людини. Сьогодні йогурт це один із найбільш популярних кисломолочних продуктів. Через великий попит на цей продукт, підприємства виготовляють його у великій кількості і для підтримання якості продукту необхідно використовувати автоматизовані системи керування.

Систему можна використовувати на молочних підприємствах для виготовлення йогурту, але разом з тим вона може бути модернізована під виготовлення інших подібних кисломолочних напоїв.

					IA52.230BAK.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	А...	№ докум.	Підпис	Дата		7

2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Система має наступні характеристики:

- продуктивність системи: 1000 л/год;
- температура молока на вході: від 5 °С до 10 °С;
- температура молока після I секції рекуперації: від 55 °С до 60 °С;
- температура пастеризованого молока: від 90 °С до 95 °С;
- температура молока для сквашування: 42 °С;
- температура гарячої води: від 70 °С до 99 °С;
- час витримки молока: 300 с.

					ІА52.230БАК.005 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ОГЛЯД НАЯВНИХ РІШЕНЬ

3.1 Технологічний процес

Під час вибору структури системи автоматичного керування був проведений аналіз технологічного процесу обробки молока та виготовлення кисломолочних напоїв на різних підприємствах.

Виробництво молочних продуктів ділиться на декілька галузей: виробництво незбираномолочних продуктів, виробництво масла, сиру, молочних продуктів для дітей. В залежності від цих галузей існує декілька видів молочних підприємств, наприклад молочні заводи та комбінати, маслозаводи, сирзаводи, підприємства для виготовлення дитячої молочної продукції та інші.

Для того щоб отримати різні молочні продукти проводять різні процеси: хімічні, фізичні, біологічні. Найчастіше використовується термічний процес, він необхідний для попередньої обробки та підготовки молока, для виготовлення кисломолочних продуктів також використовуються мікробіологічні процеси, адже відбувається процес сквашування за допомогою різних мікроорганізмів.

Кисломолочні напої класифікуються таким чином:

- за способом виготовлення (термостатний або резервуарний);
- за хімічним складом (вміст жиру, сухих речовин та інших компонентів);
- за видом речовини (молоко, сироватка);
- за терміном придатності (короткий, продовжений та термізований).

Під час виготовлення продукту дуже важливо щоб всі продукти були свіжі та високої якості. Для того щоб отримати продукт гарної якості, необхідно щоб в молоко чи закваску не потрапили сторонні мікроорганізми. Тому перевірка продукту відбувається декілька разів на різних етапах виробництва.

Кисломолочні продукти мають загальну технологію виготовлення, вона може мати лише відмінності в деяких пунктах із-за особливості виготовлення того чи іншого продукту, також після процесу заквашування ділиться на два

					IA52.230БАК.005 ПЗ	Аркуш 9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

способи виготовлення. Для початку розглянемо загальну технологію [8], вона зображена на рисунку 3.1.

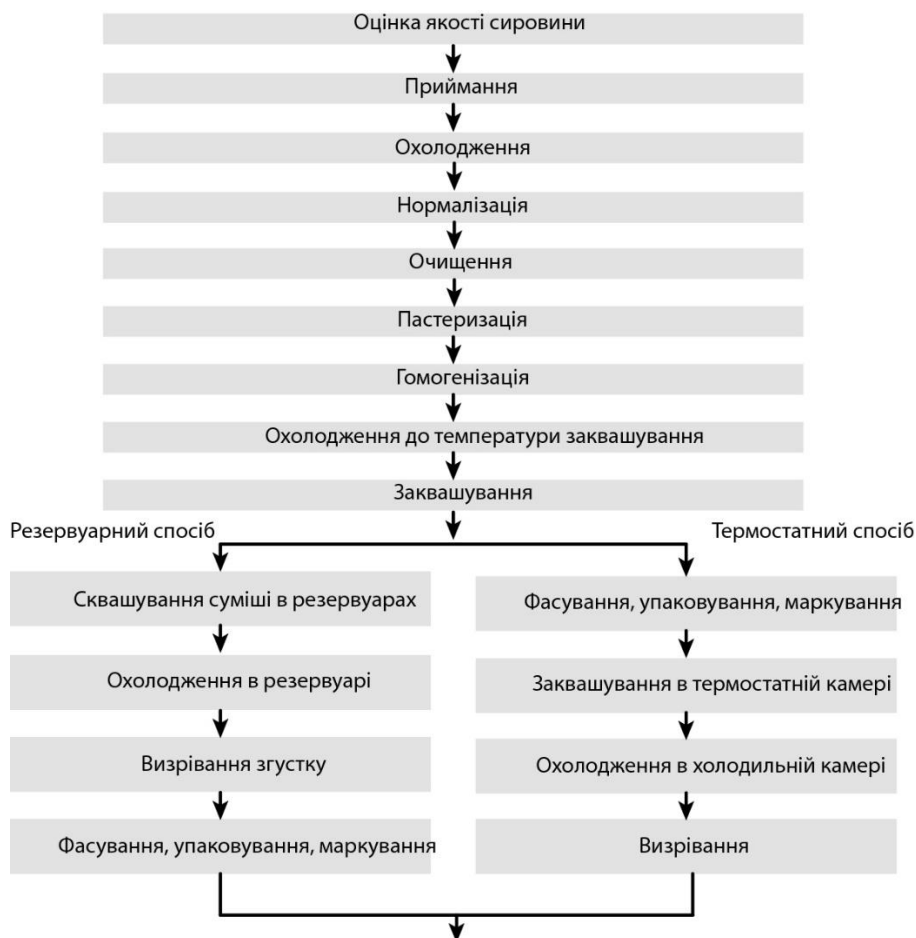


Рисунок 3.1 – Загальна схема технологічного процесу виготовлення йогурту

Перед процесом виготовлення кисломолочних напоїв потрібно виконати обробку молока це перші дев'ять пунктів із зображення 3.1 і вони є загальними для двох способів виготовлення кисломолочних напоїв.

Оцінка молока, приймання і охолодження відбувається у місці збору молока. Молоко оцінюється за кислотністю та бактеріальним забрудненням. Це є первинною обробкою молока, вона необхідна для покращення зберігання і транспортування.

Далі виконується нормалізація, це підвищення або зниження вмісту жиру в молоці. Якщо у масова частка жиру менша за необхідну, то до молока додають

вершки або молоко більшої жирності, в іншому випадку коли молоко надто жирне до нього додається знежирене молоко.

Після цього виконується очищення молока від механічних домішок. Найпоширеніший спосіб очистки це фільтрування, воно виконується за допомогою молокоочисників із використанням синтетичних тканин в якості фільтрів. Такі фільтри дають можливість швидко і якісно фільтрувати, також вони довготривалі і дають можливість пропускати більш ніж 10т молока.

Далі проводиться пастеризація, це теплова обробка молока до температури 95 °С для того щоб уникнути забруднення молока бактеріями чи мікроорганізмами. Існує декілька видів пастеризації: короточасна, довготривала та миттєва. Зазвичай використовується короточасна пастеризація за допомогою автоматизованої пастеризаційної установки.

Гомогенізація молока відбувається для подрібнення великих жирових кульок і в процесі молоко стає більш однорідне. Процес подрібнення відбувається в пристроях – гомогенізаторах, у них жирові кульки подрібнюються за рахунок того що молоко рухається під великим тиском через головку гомогенізатора.

Розглянемо детально процес пастеризації молока для подальшого сквашування, схема установки зображена на рисунку 3.2.

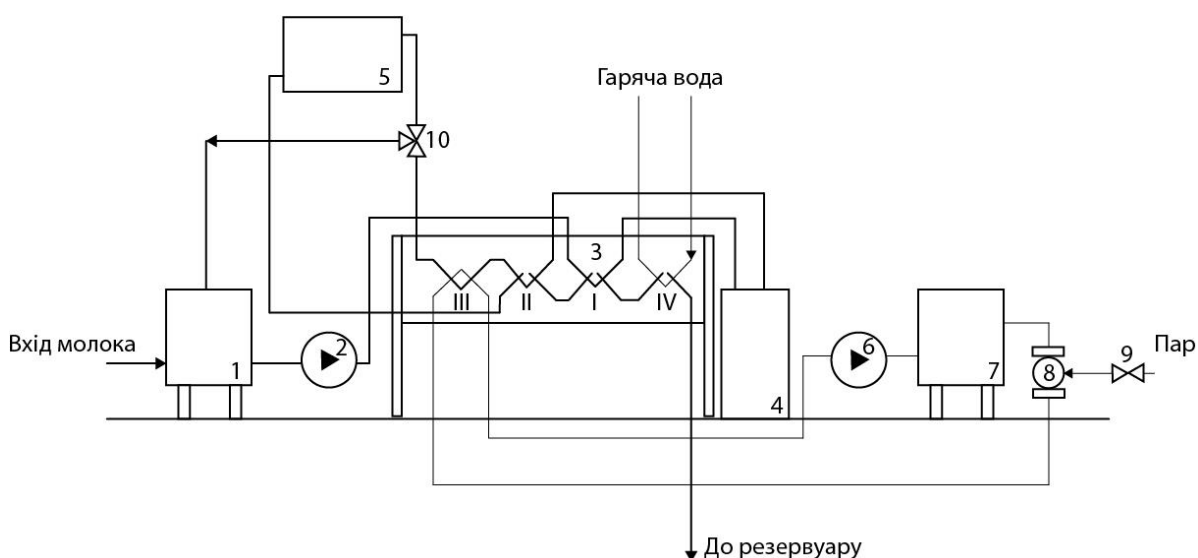


Рисунок 3.2 – Схема пастеризаційної установки

Позначення елементів з рисунку 3.2: 1 – урівнювальний бак; 2 – молочний насос; 3 – пластинчастий апарат; 4 – гомогенізатор; 5 – витримувач; 6 – водяний насос; 7 – бойлер; 8 – інжектор; 9 – електрогідравлічний клапан; 10 – перепускний клапан; I – перша секція рекуперації; II – друга секція рекуперації; III – секція пастеризації; IV – секція нагріву.

З молокозбірника молоко надходить в урівнювальний бак 1. Далі, за допомогою насосу 2 молоко потрапляє в секцію рекуперації I, там відбувається нагрівання молока за допомогою теплообміну з гарячим молоком що йде після секції пастеризації через витримувач 5. Під час цього процесу молоко нагрівається до температури 55 – 60 °С і направляється в гомогенізатор 4. Після гомогенізації молоко направляється в секцію рекуперації II, де відбувається нагрівання за допомогою гарячого молока до 75-80 °С. Після цього молоко надходить в секцію пастеризації III, там воно нагрівається до температури 90 – 95 °С за допомогою теплообміну з гарячою водою, яка поступає від бойлера 7 де вона нагрівається за допомогою гарячого пару, який надходить через клапан 9 в інжектор 8. Після пастеризації молоко рухається через клапан 10, якщо воно не досягло потрібної температури після пастеризації, відбувається на повторна пастеризація, якщо температура була досягнута, то молоко надходить у витримувач 5, там залишається до 300с і далі проходить через секції рекуперації I та II де віддає частину тепла холодному молоку, тоді його температура падає до 20 – 29 °С і воно потрапляє в секцію нагріву IV де воно підігрівається за допомогою гарячої води до температури сквашування, 40-45 °С. Далі оброблене молоко потрапляє в резервуар для сквашування.

Після обробки молока відбувається процес приготування кисломолочного напою. Він здійснюється двома основними способами: термостатним і резервуарним.

Різниця між цими способами в тому що при резервуарному способі після пастеризації та охолодження молока спершу вносяться наповнювачі, далі сквашування та визрівання відбувається в резервуарах, після чого продукт

фасується у споживчу тару. В той же час термостатному способі сквашування молока та визрівання відбувається в термостатних камерах у споживчій тарі.

Резервуарний спосіб має ряд переваг, адже зменшуються витрати людської праці та використовується менша виробнича площа за рахунок того, що весь процес відбувається в резервуарах, на відміну від термостатного способу для якого потрібні спеціальні камери. При виготовленні резервуарним способом процес гомогенізації дуже важливий.

Отже, після процесу підігрівання молока до температури заквашування, воно одразу рухається до резервуару для заквашування. Бактеріальна закваска повинна вноситись одразу для того щоб не порушити процес заквашування. Перед тим як ввести закваску молоко ретельно перемішується і в процесі перемішування вноситься закваска в розмірі 5% від об'єму молока.

Кисломолочні напої потрібно зберігати від 2 до 30 діб при температурі $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Щоб підвищити термін зберігання кисломолочних напоїв, потрібно виготовляти продукцію високої якості, використовувати високі температури обробки та додавати до продукції стабілізатори.

В даній роботі розглядається процес виготовлення йогурту без добавок, він має вище описану технологію виготовлення, проте є і свої особливості.

Йогурт виготовляють за допомогою закваски, складовими якої є болгарська паличка та термофільний стрептокок. Йогурт можна виготовляти будь-яким з описаних вище способів. Проте при використанні термостатного способу підтримується традиційна технологія, на відміну від резервуарного способу, коли при виготовленні йогурту порушується згусток, внаслідок чого він стає рідкішим, тобто питним йогуртом. Особливістю технології виготовлення йогурту є те що нормалізована суміш сквашується впродовж 3-4 годин при температурі $40-45^{\circ}\text{C}$ до тих пір, поки не утвориться згусток кислотністю 80°T . Після цього його поступово перемішують та охолоджують до 20°C і далі фасують.

На сьогодні для виготовлення йогурту використовуються закваски, що містять більш широкий спектр мікрофлори, проте це збільшує час утворення

					IA52.230БАК.005 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	А...	№ докум.	Підпис	Дата		

згустку до 10 год. Також, важливим є збільшення терміну зберігання йогурту, застосування стабілізаторів продовжує термін зберігання до 14 діб, а додаткова термізація - до 30 діб.

При виготовленні йогурту з наповнювачами, наповнювач вносить після охолодження йогурту до температури 20-25 °С. До наповнювачів є певні вимоги: дотримання санітарних норм при транспортуванні та зберіганні; чітке дотримання терміну придатності; дотримання температурних режимів під час виготовлення йогурту; якщо наповнювач має плоди чи ягоди, то вони не повинні містити ознак псування.

3.2 Огляд наявних рішень

Автоматизовані системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) використовуються для того щоб зменшити витрати людської робочої сили та розширити функціональні можливості [2]. Такі системи зазвичай будуються на основі роботи людського тіла, тобто датчики в системі це як органи чуття, виконуючі пристрої – руки та ноги людини, а комп'ютер чи контролер – мозок. Розглянемо основні принципи побудови систем автоматизації.

У великих системах використовуються різноманітні датчики, задачею яких є перетворення фізичної величини в електричний сигнал. Параметри електричного сигналу не завжди відповідають стандарту, тому спершу датчики підключаються до вимірювального перетворювача, який нормалізує сигнал з датчика. Вимірювальні перетворювачі можуть включати в собі АЦП (аналого-цифровий перетворювач) та ЦАП (цифро-аналоговий перетворювач). Також є цифрові датчики які включають вимірювальний перетворювач, перетворювач фізичної величини в електричний сигнал і АЦП.

Далі до комп'ютера підключаються модулі аналогового входу, що передають сигнали з датчиків та модулі дискретного вводу, що дозволяють вводити сигнали двох рівнів. Також є пристрої лічильного вводу, що дають змогу лічити кількість або частоту імпульсів.

Комп'ютер використовується для того щоб приймати сигнали з датчиків, обробляти їх за певною програмою і далі видавати необхідну інформацію на пристрої виведення. Зв'язок між пристроями введення-виведення і комп'ютером виконується за допомогою послідовних або паралельних інтерфейсів. Також пристрої введення-виведення виконуються у вигляді плат, тоді їх вмонтовують в комп'ютер. Перевагами використання плат є те що можна досягти високої пропускної здатності каналів вводу-виводу.

В автоматизованих системах часто використовується програмований логічний контролер (ПЛК) замість комп'ютера або разом із ним. ПЛК має ряд переваг, що визначаються в малих габаритах, розширеному температурному діапазоні, стійкості до вібрацій, малому енергоспоживанню та плати аналогового і дискретного вводу-виводу.

Пристрої виводу в даній системі дають змогу виводити дискретні, частотні та аналогові сигнали. Дискретні сигнали використовуються для включення двигунів, нагрівачів, для керування клапанами, насосами та іншими пристроями. Частотні сигнали використовуються для керування потужністю пристроїв.

Архітектуру автоматизованої системи можна реалізувати різними способами, які залежать від вибору різних компонентів архітектури та методів взаємозв'язків між ними. Елементами архітектури є моделі датчиків, пристроїв вводу-виводу, вимірювальних перетворювачів, ПЛК, комп'ютерів, інтерфейсів, протоколів, виконуючих пристроїв, каналів передачі інформації.

Автоматизована система повинна мати наступні властивості: слабка зв'язність елементів архітектури між собою, можливість проведення тестування та діагностики системи, ремонтпридатність, надійність, простота обслуговування, безпека та захист, економічність, можливість модифікації та розширення функціональних можливостей, мінімальний час на монтаж і розгортку системи.

Вибір архітектури залежить від того які задачі будуть вирішуватись за допомогою системи. Наприклад, моніторинг, автоматичне управління, диспетчерське управління або забезпечення безпеки.

Побудова автоматизованої системи управління (АСУ) починається з розділення цієї системи на частини, тобто декомпозиції. Декомпозиція буває двох видів: функціональна та об'єктна. При функціональній декомпозиції систему ділять на групи за схожими функціями і для кожної групи використовується окремий контролер. При об'єктній декомпозиції кожен об'єкт автоматизації обладнується локальним контролером, що вирішує задачі в межах цього об'єкту. Ці методи декомпозиції можна використовувати одночасно.

Незалежно від обраного методу, основним результатом декомпозиції повинна бути слабка зв'язність елементів архітектури між собою. Це означає що між ними немає зворотних зв'язків та відсутній інтенсивний обмін інформацією.

Найпростіша автоматизована система складається з одного комп'ютера та пристроїв вводу-виводу, датчиків і виконуючих пристроїв, що підключені до цього комп'ютера.

Зі збільшенням кількості датчиків та розмірів підприємства, де використовується автоматизована система, доцільно застосовувати розподілені системи. Такі системи складаються з декількох контролерів та пристроїв вводу-виводу, розподілених по підприємству. Кожен контролер обслуговує певну частину об'єкту управління. Отже, розподілену систему можна визначити як систему, що складається з великої кількості пристроїв, які не залежать один від одного, але взаємодіють між собою для виконання певної задачі. До характеристик такої системи можна віднести швидка і надійна робота завдяки розподіленню завдань між декількома контролерами, стійкість до збоїв та підвищена надійність, простота проектування, налаштування, діагностики та обслуговування, менші витрати на кабелі.

Для ефективного проектування розподілених систем автоматизації використовуються три рівня ієрархії моделей: модель системи, модель фізичних пристроїв і модель функціональних блоків.

Модель системи може бути представлена як набір фізичних пристроїв, що взаємодіють між собою за допомогою однієї або декількох промислових мереж. Функції, які виконує система, моделюються за допомогою програмного додатку який розміщується в одному або декількох ПЛК.

При побудові моделі фізичних пристроїв кожен пристрій розглядається як окремий екземпляр певного типу пристроїв, також він повинен містити хоча б один інтерфейс до об'єкту управління, який забезпечує відображення даних і подій фізичного процесу. Крім цього фізичний пристрій може містити декілька ресурсів.

Ресурс розглядається як функціональна одиниця, яка міститься в пристрої, має незалежне управління своїми операціями та забезпечує різні сервісні функції, включаючи планування і виконання алгоритмів. Прикладом ресурсу можуть бути пам'ять і час, що виділені для виконання задач в процесорі. В функції ресурсу входить прийом даних і подій від об'єкту управління, обробка і повернення результату, згідно алгоритму роботи програмного забезпечення.

Програмний додаток складається з функціональних блоків, через які по з'єднанням переносяться данні та події. До складу функціональних блоків також можуть входити інші програмні додатки. При надходженні подій від інтерфейсів чи даних ресурс починає планувати та виконувати алгоритм, модифікувати змінні, генерувати події у відповідь та взаємодіяти з інтерфейсом.

Архітектура на основі спільної шини працює таким чином: комп'ютер надсилає запит в спільну шину, для того щоб отримати дані з модуля чи контролера, мікропроцесор що входить в модуль чи контролер, перевіряє чи запит надісланий йому, якщо так, то виконує команду дозволу зчитування або встановлення даних. В такій системі уповільнюється обмін даними, внаслідок утворення черги. Затримка стає ще більшою в мережах з великою кількістю

датчиків. Розподілена система допомагає вирішити цю проблему шляхом розміщення модулів вводу-виводу близько до місць розміщення датчиків та з'єднання цих модулів за допомогою шини. Тоді при збільшенні кількості датчиків збільшується кількість модулів, але кількість пристроїв, що підключені до шини не буде так стрімко рости, тому що кожен модуль може містити від 1 до 16 входів.

Розглянемо багаторівневу архітектуру. Промислова мережа може бути підключена до декількох комп'ютерів, це зручно при колективній роботі з системою автоматизації і для зв'язку технологічного рівня АСУ з рівнем керування. Доступ будь-якого комп'ютера мережі до пристроїв вводу-виводу чи контролерів виконується за допомогою OPC-сервера, який може бути розміщений на комп'ютері чи контролері. Приклад архітектури детальніше описаний в [2] та показаний на рисунку 3.3.

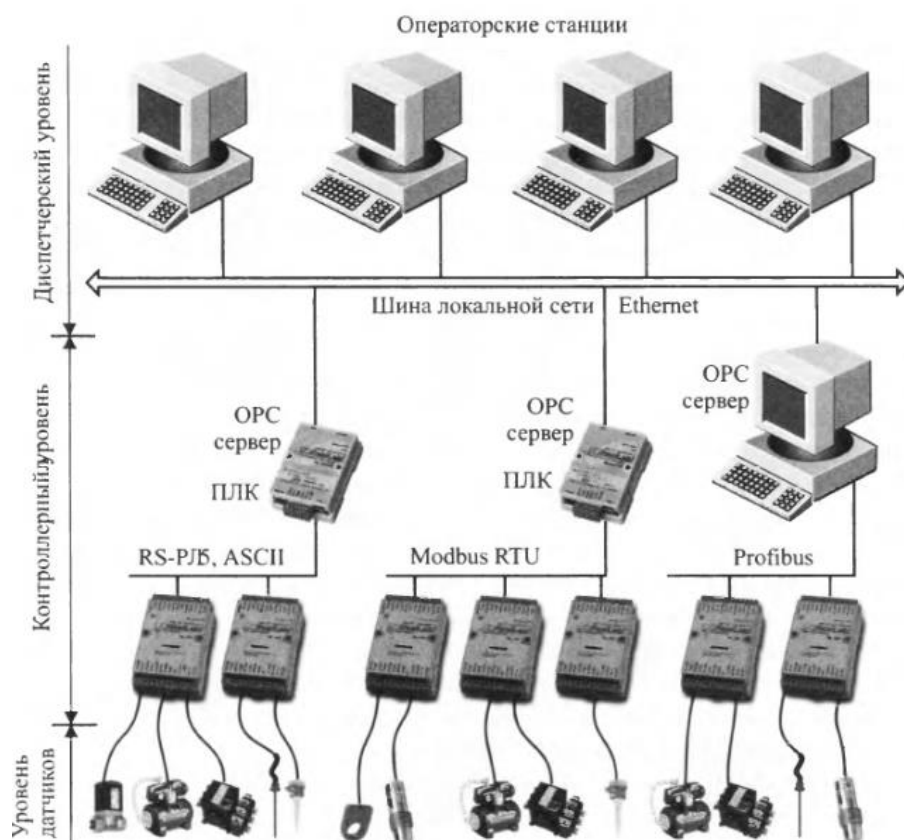


Рисунок 3.3 – Типова розподілена система автоматизації, що включає три рівні ієрархії

Системи управління з багаторівневою архітектурою зазвичай будуються за об'єктним принципом, це означає що структура обирається подібною до структури об'єкту автоматизації, а кожна підсистема локальна, тобто всі зворотні зв'язки знаходяться в межах цієї підсистеми. Локальна підсистема виконує окремі функції.

Аналіз складних систем дає змогу виділити декілька рівнів ієрархії. Розглянемо їх на рисунку 3.4. Тут WAN (Wide Area Network) – глобальна мережа, LAN (Local Area Network) – локальна мережа.



Рисунок 3.4 – Рівні ієрархії сучасної АСУ

Нульовий рівень включає в себе датчики і виконуючі пристрої. В нинішній час зазвичай використовують інтелектуальні датчики, що містять в собі цифровий інтерфейс, вмонтований мікроконтролер, пам'ять та мережеву адресу.

Перший рівень складається програмованих логічних контролерів, модулів аналого-цифрового і дискретного вводу-виводу, які обмінюються інформацією за допомогою промислової мережі.

Другий рівень з комп'ютерів з людино-машинним інтерфейсом. Диспетчер виконує спостереження за виконанням технологічного процесу і управління ним. Комп'ютер виконує збереження зібраних даних, запис дій оператора, аналізує сигнали діагностики та дані з аварійної та технологічної сигналізації, а також виконує частину алгоритмів управління технологічним процесом. Спостереження за процесами можна виконувати з будь-якого комп'ютера, проте керування можна виконати лише з одного або функції керування розподіляються між декількома комп'ютерами.

Третій рівень це рівень управління цехом. Це зв'язок між автоматизованою системою управління технологічним процесом і автоматизованою системою управління підприємством (АСУП). АСУП, в залежності від розмірів підприємства може включати ще четвертий рівень – рівень вищого керівництва. На рівні АСУП вирішується планування ресурсів підприємства та технологічних підрозділів, керування виробничими та людськими ресурсами, керування основними фондами, технологічним обслуговуванням та ремонтами.

Коли частина компонентів системи виходить за межі локальної мережі і переходить на рівень глобальної мережі WAN, найбільш вигідно використовувати в цьому випадку інтернет.

Перевагами використання інтернет-зв'язку є те що це дешевше, тому що відбувається комутація пакетів, а не каналів. Також перевагою є те що на комп'ютері диспетчера можна використовувати будь-який веб-браузер, незалежно від операційної системи та керування і моніторинг може відбуватись з будь-якої точки на землі. Така можливість важлива для четвертого рівня, рівня вищого керівництва.

Недоліками використання інтернету є те що може відбуватись затримка доставки повідомлень, також він має низьку надійність зв'язку та поганий захист від несанкціонованого доступу.

Існує два способи управління через інтернет: спосіб віддаленого терміналу та спосіб ділення SCADA-пакету на серверну та клієнтську частини.

При першому способі виконуюча програма виконується на віддаленому від користувача комп'ютері, на якому встановлений спеціальний веб-сервер. За допомогою веб-браузера користувач може працювати з програмами, що запущені на веб-сервері, файловою системою і реєстром сервера. Відділений термінал можна використовувати для керування будь-якою програмою, в тому числі SCADA, але його недоліком є те що він вимагає високої пропускної здатності інтернет-каналу.

Другий спосіб заснований на діленні SCADA-пакету на серверну та клієнтську частини. Клієнтська частина це веб-браузер що переглядає спеціальну веб-сторінку що знаходиться на веб-сервері. На цій сторінці знаходиться спеціалізований інтерфейс з графікою та анімацією. Вона сприймає дії що виконує користувач, а сервер в свою чергу формує нову сторінку в залежності від змін які вніс користувач. Це виконується за допомогою CGI-сценарію (Common Gateway Interface), що знаходиться на сервері. Дані між клієнтом і сервером передаються за допомогою повідомлень SOAP (Simple Object Access Protocol). SOAP активує два процеси, які знаходяться на різних комп'ютерах, але взаємодіють один з одним незалежно від того на яких платформах вони реалізовані.

Взаємодія між клієнтською і серверною частиною відбувається наступним чином. Користувач натискає певну кнопку в веб-браузері для того щоб отримати дані з контролера, цей запит надсилається серверу через інтернет в форматі SOAP-повідомлення. Коли сервер отримує повідомлення через порт 80, він надсилає його на обробку скрипта. Веб-сервіс створює дані які запрошуються або передає керування програмі що працює з контролером через OPC-сервер. Далі дані з'являються на веб-сторінці, яку бачить користувач.

При розробці автоматизованих систем управління технологічним процесом виникає така проблема, що при ускладненні системи різко зростає її вартість. Це обумовлене тим що подібні системи доволі часто виготовляються в одному екземплярі і тому якісь елементи системи не можна замінити більш дешевими.

Одним із рішень такої проблеми є ділення системи на модулі.

Отже, розглянемо відкриту систему. Це модульна система, яка дає змогу замінити будь-який модуль на аналогічний, але іншого виробника та інтеграція його з іншими системами виконується без проблем. Основними умовами відкритості є те що система модульна, відповідає стандартам та в продажі існують аналогічні системи інших виробників по конкурентоспроможним цінам.

На відміну від відкритих систем, закриті розробляються за внутрішніми стандартами окремих підприємств. Модулі закритих систем не можна замінити аналогічними інших виробників, тому підприємство залишається залежним від виробника.

Відкритими можуть бути різні частини системи, такі як конструкторські елементи системи, користувацькі інтерфейси, різні мови програмування для контролера та модулів, операційні системи, фізичні інтерфейси, типи організації мережі і тому подібне.

Перевагами відкритих систем є модульність, платформна незалежність, взаємозаміна, апаратно-програмна сумісність, масштабованість.

Модульність – це здатність апаратного та програмного забезпечення до модифікації шляхом заміни, додавання чи прибирання окремих модулів без впливу на інші.

Платформна незалежність дає можливість виконувати програми на різних апаратно-програмних платформах що дозволяє обирати пристрої для системи незалежно від постачальника.

Взаємозаміна - це можливість заміни компонентів на аналогічні іншого виробника. Ця властивість дозволяє прискорити заміну модуля, покращити роботу системи та виключити залежність від постачальника.

Апаратно-програмна сумісність дає змогу використовувати програми що виконуються одночасно на різних платформах в спільній мережі, з можливістю обміну інформацією між ними.

Масштабованість дає можливість застосувати одне і те ж програмне забезпечення для систем різного розміру. Така система повинна забезпечувати можливість простого нарощування функціональних можливостей шляхом додавання нових компонентів в апаратну та програмну частини без модифікації старих модулів.

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Структурна схема призначена для відображення загальної структури системи, а саме її основних блоків, вузлів та головних зв'язків між ними. Зі структурної схеми має бути зрозуміло, навіщо потрібний дана система і як вона працює в основних режимах роботи, як взаємодіють її частини. Позначення елементів структурної схеми можуть обиратись довільно, хоча загальноприйнятих правил виконання схем слід дотримуватись.

На структурних схемах у вигляді прямокутників або умовних графічних позначок зображуються всі основні частини системи (елементи, пристрої, функціональні групи) та взаємозв'язки між ними. При цьому графічна побудова схеми має давати наочне уявлення про послідовність взаємодії функціональних частин, яка простежується за допомогою стрілок, що наносяться на лініях взаємозв'язку.

Структурна схема у відповідності з наведеними вихідними даними представлена на кресленику IA52.230400.004.

Схема складається з трьох контурів та контролера. Перший контур це контур нагрівання води для пластинчастого апарату. На початку пар та холодна вода змішуються в інжекторі, далі вода перекачується в бойлер де підтримується певна температура. До бойлера підключений датчик температури який передає сигнал на контролер. Гаряча вода з бойлера перекачується за допомогою насоса в пластинчастий апарат, там вона віддає тепло і повертається назад в інжектор. Також до бойлера підключені датчики сигналізації, щоб у випадку переповнення бойлера водою система припинила роботу.

Другий контур, це контур пастеризації молока. На початку молоко надходить в урівнювальний бачок. З бачка молоко насосом перекачується в пластинчастий апарат. До пластинчастого апарату підключені датчики сигналізації, а саме витратоміри. Вони необхідні для того щоб слідкувати за тим що молоко вільно рухається по системі. Витратоміри подають сигнал на

					IA52.230БАК.005 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	А...	№ докум.	Підпис	Дата		

контролер і якщо витрати різко зменшуються, то система припиняє роботу. Це необхідно для того щоб запобігти псуванню установки. З пластинчастого апарату молоко надходить в гомогенізатор і вертається назад. Далі з апарату молоко надходить до перепускного клапану. Датчик температури визначає температуру молока і подає сигнал на контролер. На основі отриманих даних контролер перемикає клапан в певне положення, тоді молоко буде рухатись або назад в урівнювальний бачок чи далі у витримувач. З витримувача молоко проходить через пластинчастий апарат і далі в перепускний клапан. Там датчик температури передає сигнал на контролер з температурою молока і на основі цих даних контролер перемикає клапан в певне положення. Далі молоко буде рухатись назад в урівнювальний бачок або далі в контур 3, в резервуар для заквашування.

Контур 3, це контур заквашування. Коли молоко надходить в резервуар, одночасно з цим контролер подає сигнал на увімкнення мішалки і на насос-дозатор, який буде дозувати закваску з заквасочника в резервуар, відповідно до значення витрат на витратомірі. До резервуару підключений датчик кислотності, який передає сигнал на контролер, він необхідний для слідкування за рівнем кислотності в резервуарі. Коли рівень кислотності досягає певної відмітки, це означає що йогурт готовий, тоді вмикається охолоджувач щоб понизити температуру продукту, датчик температури передає інформацію про поточну температуру на контролер і коли вона досягне певного рівня, тоді йогурт з резервуару надходить на фасування.

5 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ

Функціональна схема містить інформацію про способи реалізації пристроєм заданих функцій. За такою схемою можна визначити, як саме здійснюються перетворення і які для цього необхідні функціональні елементи. Кожен функціональний елемент містить лише ті входи і виходи які необхідні для його правильної роботи. Дана схема розробляється на основі структурної схеми для кожного блоку, в результаті з окремих функціональних елементів складається загальна функціональна схема об'єкту.

Функціональна схема у відповідності з наведеними вихідними даними представлена на кресленику IA52.230400.004.

Система складається з трьох контурів: контур нагріву води, контур пастеризації та контур сквашування.

Перший контур відповідає за нагрівання води для пластинчастого апарату. Пар надходить через клапан 1.1 до інжектора (1). Також до інжектора надходить холодна вода через триходовий клапан 1.3. Інжектор виконує функцію змішувача і далі вода рухається у бойлер (2). До бойлера підключений датчик рівня LE 1.5 що подає сигнал на контролер з рівнем води у бойлері, контролер в свою чергу реєструє отримані дані і якщо рівень води перевищує максимальний, то подає сигнал про це на щит керування. Також до бойлера підключений датчик температури TE 1.6, він подає сигнал на контролер з температурою в бойлері, контролер в свою чергу керує клапаном 1.11 нагрівача, для підтримки необхідної температури в бойлері. Далі вода з бойлера перекачується насосом 1.13 в секцію III пастеризації пластинчастого апарата. Контролер відповідає за вимикання насосу в разі неполадок в системі. В апараті вода віддає тепло і далі рухається назад до триходового клапану 1.3. Перед цим контролер передає сигнал на клапан для перемикавання його в інше положення, для того щоб вода циркулювала далі в інжектор і бойлер.

Другий контур відповідає за гомогенізацію, пастеризацію і нагрів молока до температури заквашування. Через клапан 2.1 надходить молоко в

					IA52.230БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	А...	№ докум.	Підпис	Дата		26

урівнювальний бачок (3), рівень молока в бачку регулюється за допомогою поплавка. Далі молоко перекачується насосом 2.3 до пластинчастого апарату. Там молоко рухається до секції I рекуперації, де нагрівається до певної температури за рахунок теплообміну з гарячим молоком. Після цього воно рухається до гомогенізатора. Перед гомогенізатором підключений витратомір FE 2.6, він подає сигнал на контролер про витрати молока за годину, таким чином контролер може визначити чи не забились труби в апараті. Молоко під тиском проходить через гомогенізатор, це необхідно для розбиття жирових згустків. До гомогенізатора підключений датчик тиску PE 2.9 що передає сигнал про тиск в пристрої і якщо тиск перевищує максимальний, то контролер сигналізує про це. Після гомогенізатора молоко рухається назад до пластинчастого апарату, де проходить через секцію рекуперації II де нагрівається додатково молоком і секцію пастеризації III де нагрівається від гарячої води. Далі воно рухається до триходового клапану 2.15. Датчик температури TE 2.12 вимірює температуру молока і передає її на контролер, якщо температура досягла необхідної відмітки, то контролер перемикає клапан 2.15 у необхідне положення і молоко рухається до витримувача, в іншому випадку молоко повертається назад до урівнювального бачка і далі проходить повторну пастеризацію. Витримувач складається з системи труб по яким рухається молоко, після витримувача встановлений витратомір FE 2.17, який подає на контролер сигнал про витрати молока, це дає змогу слідкувати за тим чи не забиті труби витримувача. Після цього молоко рухається до пластинчастого апарату і проходить через секції рекуперації II і I, там воно віддає частину тепла, та секцію нагріву IV, де молоко нагрівається до температури сквашування за допомогою теплообміну з паром, що надходить через клапан 2.20. Далі молоко рухається в сторону резервуару для заквашування. Тут встановлений датчик температури TE 2.22 який передає сигнал на контролер про температуру молока, контролер визначає чи ця температура відповідає необхідній і на основі цього перемикає клапан 2.25 у необхідне положення. У разі досягнення температури заквашування, молоко

буде рухатись до резервуару для заквашування, в іншому випадку назад до урівнювального бачка і тоді відбувається регулювання температури води що входить через клапан 2.20.

Третій контур відповідає за заквашування молока. Коли молоко пройшло через клапан 2.20, воно рухається до резервуару, на вході резервуару підключений витратомір FE 3.1, він дає змогу визначити чи молоко потрапляє в резервуар. Одночасно з тим як подається молоко, працює мішалка 3.4 та насос-дозатор 3.10, який за допомогою витратоміра 3.7 дозує закваску з заквасочника (7) до резервуару. До резервуару підключений датчик рівня LE 3.13, який передає дані про рівень суміші в резервуарі. Коли резервуар заповнився, мішалка ще певний час перемішує суміш і далі вимикається. Наступним етапом є процес заквашування, для слідкування за цим використовуються датчик кислотності QE 3.16 що передає інформацію про кислотність продукту, на основі цих даних контролер визначає чи готовий продукт. Коли кислотність досягає необхідної відмітки, це сигнал про те що процес заквашування закінчився, тому далі вмикається мішалка 3.4 та відкривається клапан 3.22 від охолоджувача, датчик температури TE 3.19 визначає температуру в резервуарі і коли температура впаде до 20 °C, вимикається мішалка та охолоджувач, і відкривається клапан 3.24 через який готовий продукт, тобто йогурт, направляється на фасування.

6 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ І ЕЛЕМЕНТІВ

6.1 Вибір датчика температури

Датчик температури розроблений для неперервного вимірювання температури робочого середовища. В системі що розробляється необхідно мати декілька датчиків які вимірюють температуру води та молока.

Для цієї системи було обрано промисловий термометр опору ОВЕН ДТС045-100М.

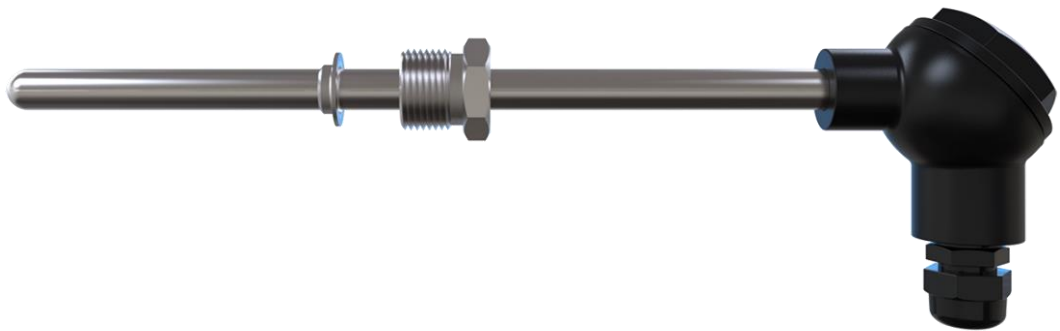


Рисунок 6.1 – Термометр опору ОВЕН ДТС045-100М

Технічні характеристики:

- номінальна статична характеристика: 100М;
- діапазон температур: від -50 °С до +180 °С;
- умовний тиск: від 0.1 МПа до 6.3 МПа.

6.2 Вибір датчика тиску

Датчики тиску призначений для неперервного перетворення надлишкового тиску середовищ в сигнал постійного струму.

Для даної системи було обрано промисловий датчик тиску ОВЕН ДП100-ДИ. Цей датчик оснащений сенсором з вимірювальною мембраною із

нержавіючої сталі, що забезпечує високу точність вимірювань. Надлишковий тиск перетворює в уніфікований сигнал від 4 мА до 20 мА постійного струму.



Рисунок 6.2 – Датчик тиску ОВЕН ДП100-ДИ

Технічні характеристики:

- похибка: 0.5%;
- діапазон робочих температур: від -40 °С до 100 °С;
- напруга живлення: від 12 В до 36 В;
- стійкий до механічного впливу;
- робочий атмосферний тиск: від 66 кПа до 106.7 кПа;
- верхня межа вимірювального тиску: 25 МПа.

6.3 Вибір витратомірів

Витратомір призначений для вимірювання об'ємної витрати рідин. Для даної системи витратоміри витратоміри використовуються щоб визначити чи рідини рухаються вільно.

Для системи було обрано витратомір РЕМ-100, це електромагнітний витратомір і він може застосовуватись для вимірювання в'язких рідин, емульсій

та різних розчинів. Для даного технологічного процесу це вимірювання витрат води та молока.

Витратомір може вимірювати витрати та об'єм рідини, що проходить через нього. Для отримання точних результатів необхідно щоб рідина повністю заповнювала трубу. Пристрій складається з датчика що розміщений на перетворювачі витрат.



Рисунок 6.3 – Витратомір PEM-100

Технічні характеристики:

- основна похибка: 0.5%;
- діапазон температур робочого середовища: від -20 °С до 60 °С;
- максимальний тиск: 1.6 МПа;
- труба перетворювача: сталь.

6.4 Вибір датчика кислотності

Датчик кислотності (рН) використовується для неперервного вимірювання рівня рН в речовинах. В системі що розробляється датчик кислотності використовується для вимірювання кислотності йогурту.

Для цієї системи було обрано промисловий датчик рН серії InPro 3250 – комбінований рН-електрод з датчиком температури Pt100. Електрод заповнений рідким електролітом під тиском 4 бара, що забезпечує точність вимірювань в різних середовищах.



Рисунок 6.4 – Датчик кислотності InPro 3250

Технічні характеристики:

- діапазон рН: від 0 рН до 14 рН;
- температурний діапазон: від 0 °С до 140 °С;
- тиск: 4 бар.

6.5 Вибір клапанів

Для системи що розробляється необхідні двоходові та триходові клапани. Перші використовуються для подачі або перекриття подачі речовин, другі мають такі ж функції, але разом з тим є можливість змінювати напрямок руху речовини, перекриваючи один з виходів.

Тому, було обрано клапани серії LDM RV111 – універсальні клапани з малими габаритними розмірами і універсальним способом підключення, двоходовий та триходовий. До клапанів підключені електричні приводи LDM ANT 3-5, вони допомагають здійснювати трипозиційне або пропорційне

					IA52.230БАК.005 ПЗ	Аркуш 32
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

управління. Клапани цієї серії використовуються для передачі води, молока та йогурту.



Рисунок 6.5 – Триходовий та двоходовий клапани серії LDM RV111

Технічні характеристики:

- діапазон робочих температур: від +2 °C до +150 °C;
- матеріал корпусу клапана: сірий чавун;
- матеріал конуса клапана: нержавіюча сталь;
- напруга живлення приводу: 24 В.

Для передачі пару було обрано двоходовий клапан Honeywell V5011S. Клапан має низьку інтенсивність витоку, працює разом з електричним приводом ML6420. Його можна використовувати для передачі гарячої та холодної води, а також пару. Для даної системи такий клапан використовується для подачі пару в інжектор.



Рисунок 6.6 – Двоходовий клапан Honeywell V5011S



Рисунок 6.7 – Електропривод Honeywell ML6420

Технічні характеристики:

- матеріал корпусу: латунь;
- робоча температура: від +2 °C до +170 °C;
- номінальний тиск: 16 бар;
- напруга живлення приводу: 24 В.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

IA52.230БАК.005 ПЗ

Аркуш

34

6.6 Вибір насосу

В системі використовується всього 3 насоси. Насос для води, молока та насос-дозатор для закваски.

Для молока було обрано насос для харчових рідин Mouvex C. Він підходить для перекачки не тільки молока, а інших молочних продуктів також. Матеріали та конструкція насосу адаптовані для абсолютної гігієнічності та безпеки виробництва.



Рисунок 6.8 – Насос Mouvex C

Технічні характеристики:

- температура: до 150 °C;
- витрати: до 45 м³/год;
- тиск: до 15 бар;
- матеріал корпусу: нержавіюча сталь санітарного виконання.

Для перекачування води з бойлера і подальшої циркуляції було обрано насос для циркуляції NKM-GE. Він застосовується для забезпечення циркуляції води в замкнутому контурі.



Рисунок 6.9 – Насос для циркуляції NKM-GE

Технічні характеристики:

- номінальна потужність: 5.5 кВт;
- живлення: 3*400 В, 50 Гц;
- натиск: від 8.5 м до 12.6 м;
- витрати: від 60 м³/год до 180 м³/год.

Для додавання закваски в молоко було обрано насос для сипучих продуктів Yamada. Цей насос працює в режимі передачі сухого порошку з низькою об'ємною щільністю без втрат.



Рисунок 6.10 – Насос для сипучих продуктів Yamada

Технічні характеристики:

- пневматичний привід;
- продуктивність до: 48 м³/год;
- матеріал корпусу: нержавіюча сталь.

6.7 Вибір мішалки з електроприводом

В системі що розробляється є резервуар для заквашування, процес заквашування включає перемішування, тому необхідно обрати мішалку яка, буде підходити для перемішування молока та йогурту.

Тому було обрано мішалку Alfa laval типу ALT. Вона універсальна і підходить до більшості резервуарів, її можна використовувати в харчовій промисловості, а також в стерильних системах. Мішалка має вільно підвішений вал без нижньої опори і привід та застосовується для перемішування і збереження однорідного середовища в резервуарах.



Рисунок 6.10 – Мішалка Alfa laval ALT

Технічні характеристики:

- напруга живлення: 420 В;
- частота: 50 Гц;
- розміри: 33x350 см;
- матеріал: нержавіюча сталь;
- тип двигуна: ІЕС IP55.

6.8 Вибір контролера

Завдання автоматизації заданої установки передбачає обробку контролером різних аналогових сигналів від датчиків первинної обробки, а також видачі сигналів управління. Тому було обрано контролер фірми Phoenix Contact – АХС 3050. Це модульний контролер для системи вводу/виводу Axioline F. Він реалізований таким чином, щоб виконувалась максимальна продуктивність, зручне та просте керування та можливість використання в складних промислових умовах. Програмований логічний контролер серії Axiocontrol має достатньо міцний корпус та відмінні властивості електромагнітної сумісності. Крім того, використання такого контролера дає змогу підвищити рівень безпеки, адже він містить вбудоване джерело безперебійного живлення. У поєднанні із системою вводу/виводу Axioline F пристрої Axiocontrol забезпечують максимальну швидкість роботи завдяки прямому підключенню до шини.

Властивості контролера:

- пристрій Profinet;
- Modbus/TCP-client;
- підтримка багаточисленних протоколів;
- можливість використання в морських умовах;
- можливість безпосереднього з'єднання в ряд до 63 модулів вводу/виводу;
- вмонтоване джерело безперебійного живлення;
- програмування і конфігурація за допомогою USB;
- 3 інтерфейси Ethernet;
- розширений температурний діапазон від -25 °C до 60 °C;
- SD-картка в якості змінної пам'яті.



Рисунок 6.10 – Контролер Phoenix Contact AXC 3050

Контролер містить три типи інтерфейсів передачі даних: інтерфейс локальної шини Axioline F зі швидкістю 100 Мбіт/с, 3 інтерфейси Ethernet зі швидкістю передачі даних 10/100 Мбіт/с, інтерфейс задання параметрів та обслуговування що відключається через мікро-USB типу B зі швидкістю передачі 115.2 кбіт/с та інтерфейс послуг що підключається через USB типу A.

Технічні характеристики:

- температура оточуючого середовища: від -25 °C до +60 °C;
- вологість повітря: від 5% до 95%;
- атмосферний тиск: від 70 кПа до 106 кПа;
- ступінь захисту: IP20;
- електроживлення: 24 В;
- діапазон напруги живлення: від 19.2 В до 30 В;
- кількість входів лічильника для сигналів 24 В: 2;
- струм що споживається: 408 мА;
- мови програмування що підтримуються: стандарт IEC 61131-3.

Зм.	А...	№ докум.	Підпис	Дата

6.9 Вибір модулів вводу/виводу

Відповідно до розробленої функціональної схеми необхідно мати не менше 11 аналогових входів для датчиків, 8 аналогових виходів для клапанів, 4 дискретних входи та 4 виходи для керування насосами та мішалкою.

Тому додатково використовуються модуль цифрового вводу/виводу AXL F DI8/1 DO8/1, модулі аналогового вводу AXL F AI8, AXL F AI4 та модуль аналогового виводу AXL F AO8.

Ці модулі зручні в налаштуванні, також є можливість доступу до виробу через веб-сервіс. Вони легко підключаються до контролера Axiocontrol через систему Axioline F та підтримують протоколи Profinet або Modbus/TCP. Обмін даними відбувається швидко через гніздо шини і мають захист від електромагнітних перешкод.



Рисунок 6.11 – Модуль вводу/виводу

Модуль AXL F DI8/1 DO8/1, має 8 цифрових входів та 8 цифрових виходів зі швидкістю передачі даних по локальній шині 100 Мбіт/с. Призначений для застосування всередині станції Axioline F. Він слугує для

Зм.	А...	№ докум.	Підпис	Дата

реєстрації і видачі дискретних аналогових сигналів. Для підвищення завадостійкості передбачена можливість налаштування часу фільтрації на входах. Виходи захищені від короткого замикання та перевантаження.

Характеристика цифрових входів:

- тип підключення: зажим push in;
- час фільтрації: 3000 мкс;
- діапазон вхідних напруг для сигналу «0»: від -3 В до 5 В;
- діапазон вхідних напруг для сигналу «1»: від 11 В до 30 В;
- номінальний вхідний струм: 2.4 мА.

Характеристики цифрових виходів:

- тип підключення: зажим push in;
- вихідна напруга: 24 В;
- вихідний струм на 1 модуль: 4 А.

Модуль AXL F AI8 має 8 аналогових входів, AXL F AI4 – 4 аналогових входи. Ці модулі призначені для реєстрації аналогових сигналів напруги.

Характеристика аналогових входів:

- час цифро-аналогового перетворення: 2 мкс;
- представлення вимірювального значення: 16 біт;
- вхідний сигнал струму: від -20 мА до 20 мА;
- вхідний сигнал напруги: від -10 В до 10 В.

Модуль AXL F AO8 має 8 аналогових виходів та призначений для виведення аналогових сигналів напруги та струму. Швидкість передачі даних по локальній шині 100 Мбіт/с.

Характеристика аналогових виходів:

- час цифро-аналогового перетворення: 5 мкс;
- представлення вимірювального значення: 16 біт;
- оновлення даних процесу: 300 мкс;
- вхідний сигнал струму: від -20 мА до 20 мА;
- вхідний сигнал напруги: від -10 В до 10 В.

Технічні характеристики загальні:

- температура оточуючого середовища: від -25 °С до +60 °С;
- вологість повітря: від 5% до 95%;
- атмосферний тиск: від 70 кПа до 106 кПа;
- електроживлення: 24 В;
- споживчий струм: 120 мА;
- кількість входів лічильника для сигналів 24 В: 2;
- підключення: штекер Axioline F;
- придатні до використання в тяжких умовах;
- захист від перенапруги;
- захист від підключення з неправильною полярністю.

					ІА52.230БАК.005 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	А...	№ докум.	Підпис	Дата		

7 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В процесі проектування автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва йогурту, був розроблений алгоритм роботи програми контролера, представлений на кресленнику IA52.230БАК.005.

Алгоритм відображений у вигляді блок-схем. За допомогою блок-схем описують алгоритми та процеси, де кожен крок зображений у вигляді блоків різної форми, в залежності від призначення, які з'єднані між собою лініями зі стрілками, що позначають напрямок руху по алгоритму. В розроблених блок-схемах використано всього 3 типи блоків: прямокутник – блок дії або обробки даних, ромб – блок прийняття рішення в залежності від умови, прямокутник із заокругленими кутами – блок виходу із зовнішнього середовища або входу в середовище. Також було використано символ для обриву схеми або виходу в іншу частину схеми – круг.

Так як алгоритм доволі великий, він був розбитий на 3 частини за допомогою символів обриву.

В загальному, контролер проходить весь алгоритм від початку до кінця через певні інтервали часу. На початку алгоритму є блок ініціалізації який відповідає за процес встановлення програмних змінних в початкові значення. Також в ході алгоритму є два блоки для опитування датчиків. Інформація з датчиків надсилається для контролера для того щоб в подальшому він міг відреагувати на ці дані згідно алгоритму. В ході роботи є декілька звернень до блоку опитування датчиків. Також в роботі алгоритму передбачена перевірка на порушення технологічного процесу, в разі неполадок виконується блок зупинки системи і тоді алгоритм далі не рухається. Після виконання цього блоку необхідно систему заново запускати.

Розглянемо кожну частину алгоритму більш детально.

					IA52.230БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

Частина управління нагрівом води зображений на рисунку 7.1 і включає в себе наступні блоки:

- 1) блок ініціалізації – необхідний для задання початкових значень параметрів;
- 2) відкриття клапанів для подачі пару та води в бойлер;
- 3) опитування показників на датчиках;
- 4) перевірка рівня води в бойлері, очікування поки рівень води не досягне мінімального значення;
- 5) перевірка рівня води в допустимих межах, якщо рівень більший за максимальний, то блок 6, в іншому випадку блок 8;
- 6) спрацювання сигналізації, індикація на щиті керування;
- 7) вимкнення системи;
- 8) увімкнення насоса для води та перемикання клапану для можливості циркуляції води по контуру;
- 9) перевірка температури в бойлері, якщо менше необхідного значення, то відбувається регулювання температури за допомогою нагрівача;
- 10) регулювання температури.

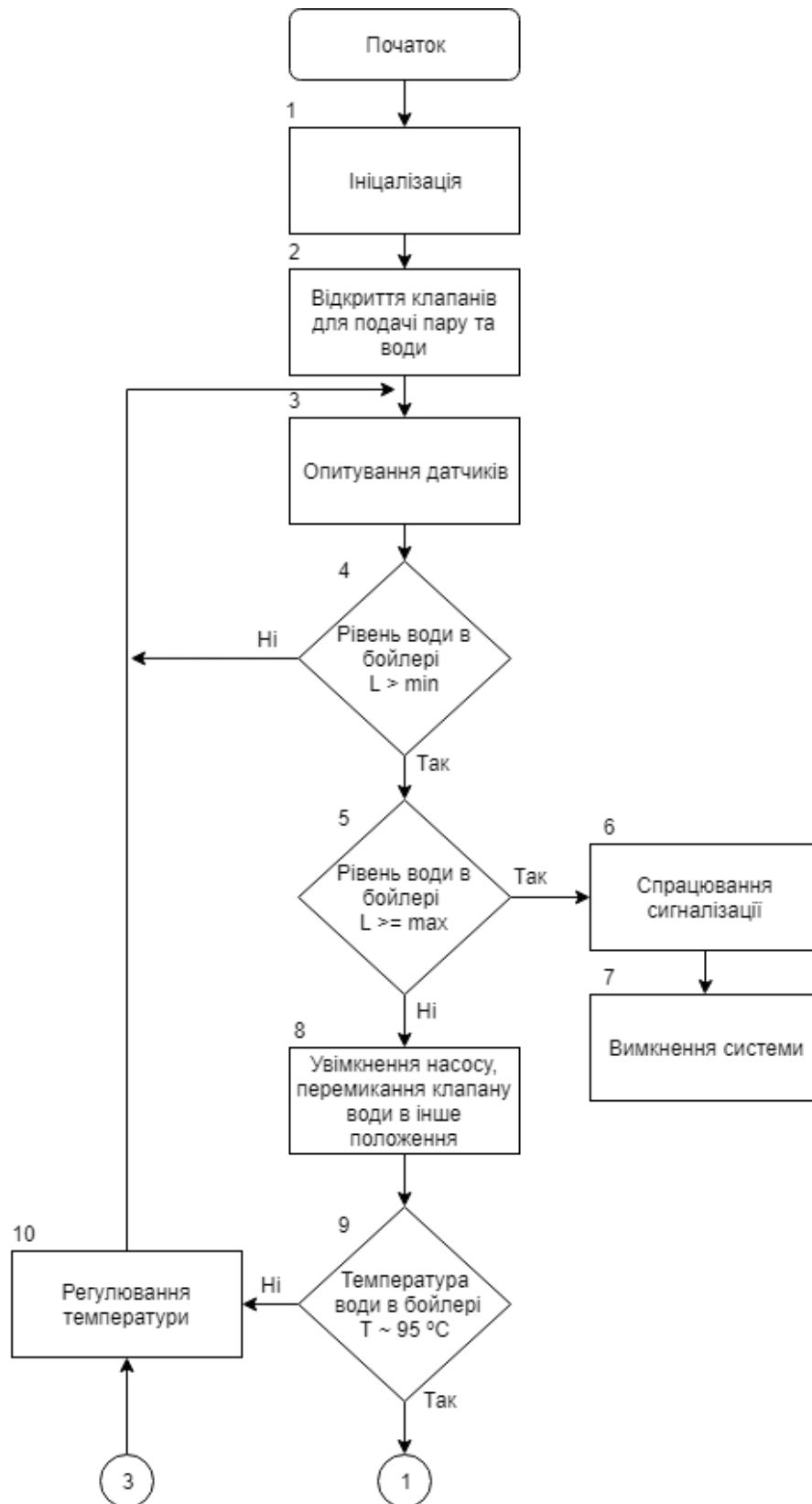


Рисунок 7.1 – Алгоритм управління нагрівом води

Наступна частина відповідає за управління процесом підготовки молока до заквашування, цей алгоритм зображений на рисунку 7.2 і включає в себе наступні блоки:

- 11) відкриття клапану подачі молока;
- 12) увімкнення насосу для молока;
- 13) опитування показників на датчиках;
- 14) перевірка показників витратомірів, якщо рівень витрат зменшився, то блок 15, в іншому випадку – 17;
- 15) спрацювання сигналізації, індикація на щиті керування;
- 16) зупинка роботи системи;
- 17) перевірка тиску в гомогенізаторі, якщо не відповідає нормі, то блок 15, в іншому випадку – 18;
- 18) перевірка чи температура молока досягла температури пастеризації, якщо так, далі блок 20, ні – 19;
- 19) перемикання клапану в положення, щоб молоко рухалось до урівнювального бачка на повторну пастеризацію і далі регулювання температури води;
- 20) перемикання клапану в положення, щоб молоко рухалось до витримувача;
- 21) перевірка чи температура молока досягла температури заквашування, якщо так, далі блок 24, ні – 22;
- 22) перемикання клапану в положення, щоб молоко рухалось до урівнювального бачка на повторну пастеризацію;
- 23) регулювання клапану подачі гарячої води до секції нагріву молока в пластинчастому апараті;
- 24) перемикання клапану в положення, щоб молоко рухалось до резервуару.

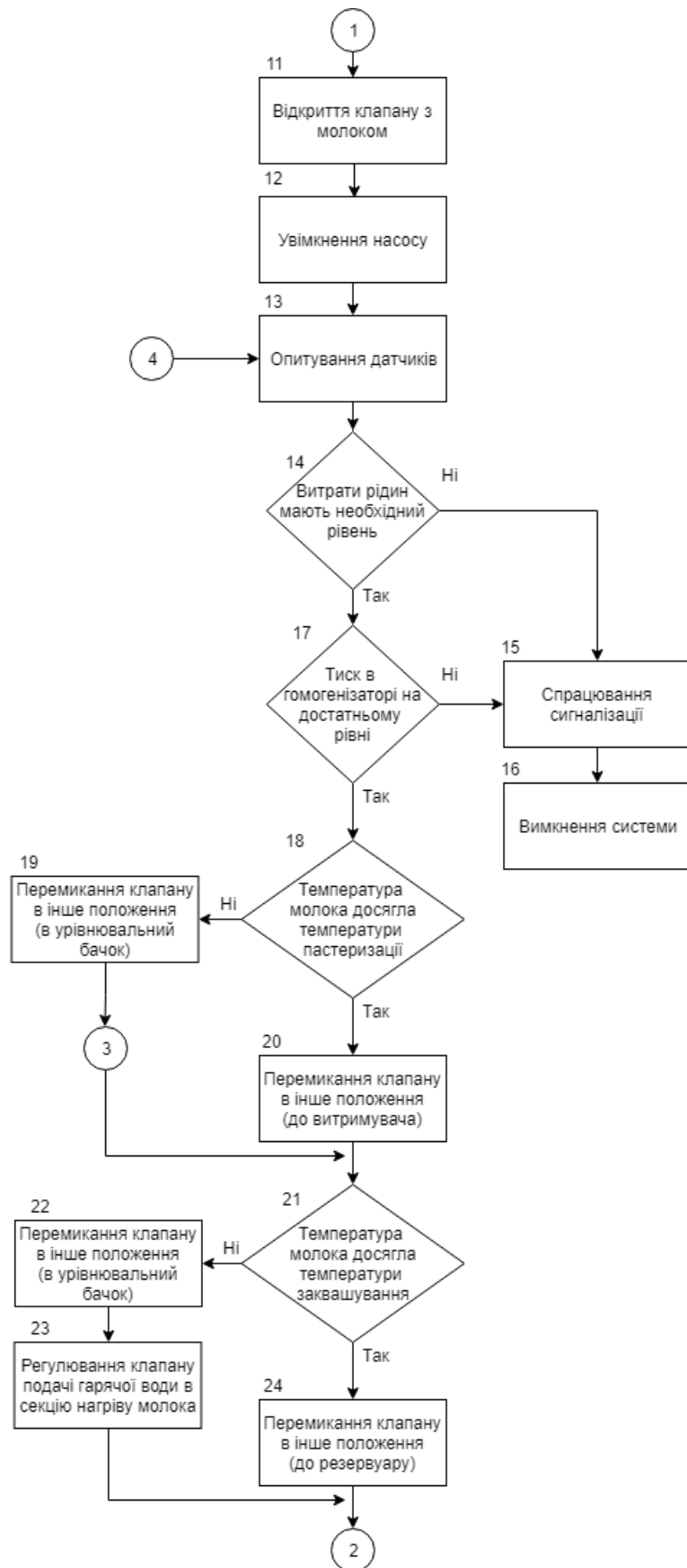


Рисунок 7.2 – Алгоритм управління процесом підготовки молока до заквашування

Третя частина алгоритму відповідає за процес заквашування молока, вона зображена на рисунку 7.3 і містить такі блоки:

- 25) перевірка витратоміра на наявність молока в трубі, якщо ні, то опитування датчиків;
- 26) увімкнення мішалки та насосу-дозатора;
- 27) перевірка рівня суміші в резервуарі;
- 28) перевірка чи рівень суміші перевищує максимальний, якщо ні, то опитування датчиків, якщо так – блок 28;
- 29) спрацювання сигналізації, індикація на щиті керування;
- 30) вимкнення системи;
- 31) вимкнення насосу-дозатора;
- 32) вимкнення мішалки через $t = 600$ с;
- 33) перевірка чи температура в резервуарі > 42 °C;
- 34) увімкнення нагрівача якщо температура менше;
- 35) перевірка чи кислотність продукту досягла 80 °T, якщо ні – опитування датчиків;
- 36) увімкнення мішалки та охолоджувача;
- 37) перевірка чи температура в резервуарі впала до 20 °C, якщо ні – опитування датчиків;
- 38) відкриття вихідного клапану.

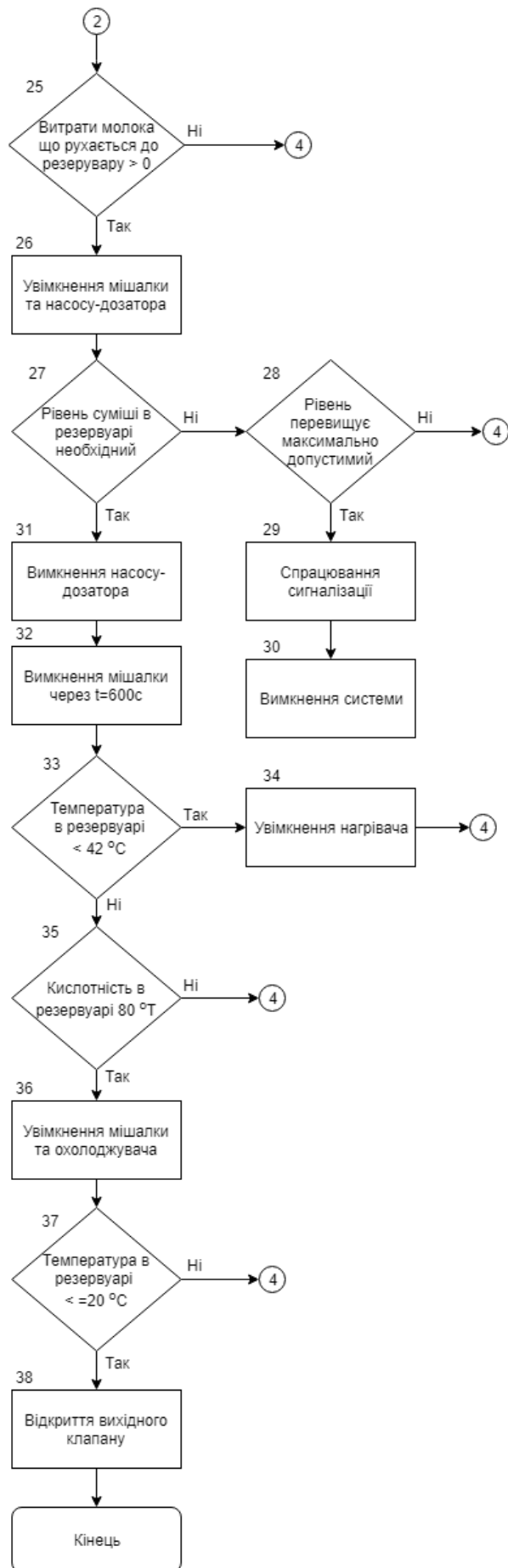


Рисунок 7.3 – Алгоритм процесу заквашування молока

8 ВИБІР ЗАКОНУ РЕГУЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА

У якості контуру регулювання було обрано регулювання температури в резервуарі для сквашування. Для процесу сквашування необхідно підтримувати постійно температуру 42 °С. Процес відбувається таким чином: датчик температури знімає покази температури з резервуару і передає сигнал на контролер, якщо температура менша за необхідну, контролер вмикає нагрівач, якщо на необхідному рівні – вимикає. В подібних резервуарах переважно в якості нагрівача використовується гаряча вода що рухається у подвійній стінці резервуару.

Для розрахунку регулятора спершу необхідно визначити передавальні функції елементів що беруть участь в процесі та що виступає в якості вихідного та регулюючого сигналу. В даному випадку контур складається з датчика температури, нагрівача і регулятора.

Для передавальної функції нагрівача вихідним сигналом $y(t)$ є температура в резервуарі, а регулюючим сигналом $x(t)$ – нагрівач.

Передавальна функція технологічних об'єктів у яких відбуваються теплообмінні процеси є аперіодичною ланкою 1-го порядку. Так як в даному випадку це передавальна функція нагрівача, то диференціальне рівняння, яким описується процес, має наступний вигляд:

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t), \quad (8.1)$$

де T – час реакції зміни температури,

k (коефіцієнт підсилення) – енергія для нагрівання молока на 1 °С.

Перейдемо до зображення Лапласа:

$$\frac{dy(t)}{dt} = sY(s), y(t) = Y(s), x(t) = X(s), \quad (8.2)$$

$$TsY(s) + Y(s) = kX(s), \quad (8.3)$$

					IA52.230БАК.005 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	А...	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Y(s)(Ts + 1) = kX(s), \quad (8.4)$$

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{k}{Ts+1}. \quad (8.5)$$

Враховуючи параметри системи, $T = 2$ с.

Для розрахунку кількості теплоти, необхідної для нагріву молока на 1°C , потрібні наступні значення:

$$c = 3956.5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}, \rho = 1020 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, V = 1000 \text{ л} = 1 \text{ м}^3,$$

де c – питома теплоємність,

ρ – густина молока,

V – об'єм.

Формула знаходження кількості теплоти наступна:

$$Q = c * m * \Delta t, \quad (8.6)$$

де Δt – температура на яку нагріється молоко,

Q – кількість теплоти.

$$Q = c * m * \Delta t = c * \rho * V * 1 = 3956.5 * 1020 * 1 * 1 = 4.035 \text{ МДж}.$$

Отже, $k = 4.035$.

Отримаємо що передавальна функція нагрівача має наступний вигляд:

$$W_{\text{нагр}} = \frac{4.035}{2s+1}. \quad (8.7)$$

Також необхідно визначити передавальну функцію датчика температури.

Регулюючим сигналом $x(t)$ є температура в резервуарі, а вихідним сигналом $y(t)$

є напруга. Для приладів що перетворюють один сигнал в інший використовується підсилювальна ланка.

Тому рівняння має наступний вигляд:

$$y(t) = kx(t), \quad (8.7)$$

де k – залежність опору датчика від температури.

Перейдемо до зображення Лапласа:

$$W(s) = k. \quad (8.8)$$

Для датчика що був обраний, згідно номінальної статичної характеристики при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ опір 100 Ом , при $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 104.26 , отже

$$k = \frac{104.26 - 100}{10} = 0.426. \quad (8.9)$$

Отримаємо, що передавальна функція датчика температури має вигляд:

$$W(s) = 0.426. \quad (8.10)$$

Для розрахунку регулятора необхідно визначити характер перехідного процесу, тому за допомогою MATLAB Simulink було змодельовано схему. На схемі, що зображена на рисунку 8.1, $W_{\text{нагр}}$ – передавальна функція нагрівача, $W_{\text{дат}}$ – перехідна функція датчика температури. Блок Saturation необхідний для обмеження вхідного сигналу. За допомогою блоку Step задано необхідну температуру – $42\text{ }^{\circ}\text{C}$.

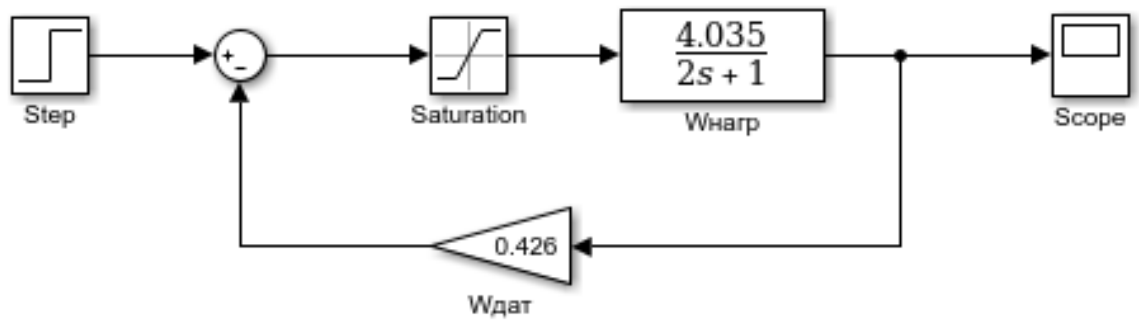


Рисунок 8.1 – Схема моделі

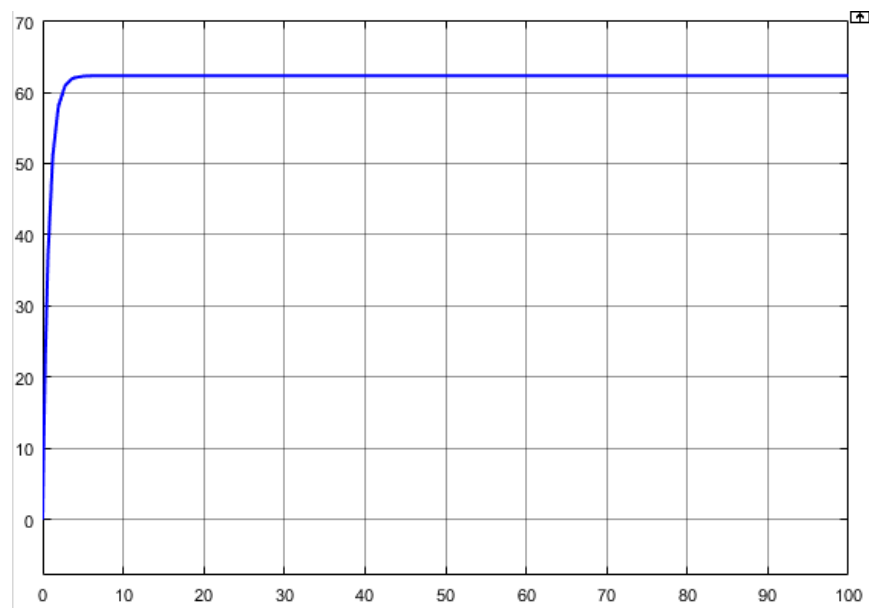


Рисунок 8.2 – Перехідна характеристика

Як видно з графіка перехідної характеристики, температура досягає необхідного рівня і одразу його перевищує і встановлюється на значенні трохи більше 60, а для правильної роботи необхідно 42. Тому до схеми було додано ПІ-регулятор. Схема з ПІ-регулятором на рисунку 8.3. Розрахунки регулятора проведено за допомогою блоку Check Step Response Characteristics. Тут Р – пропорційна складова, І – інтегральна складова регулятора.

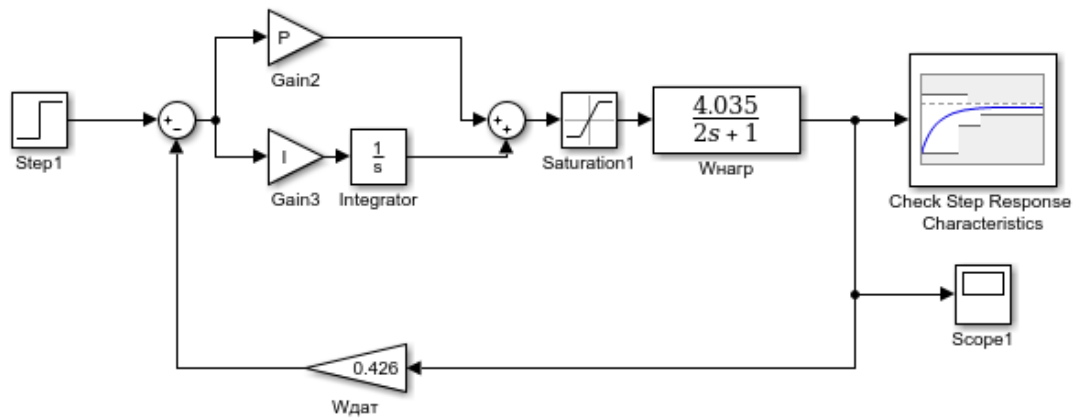


Рисунок 8.3 – Схема моделі з ПІ-регулятором

Значення параметрів ПІ-регулятора наступні:

$$P = 0.47, I = -4.36 \cdot 10^{-5}.$$

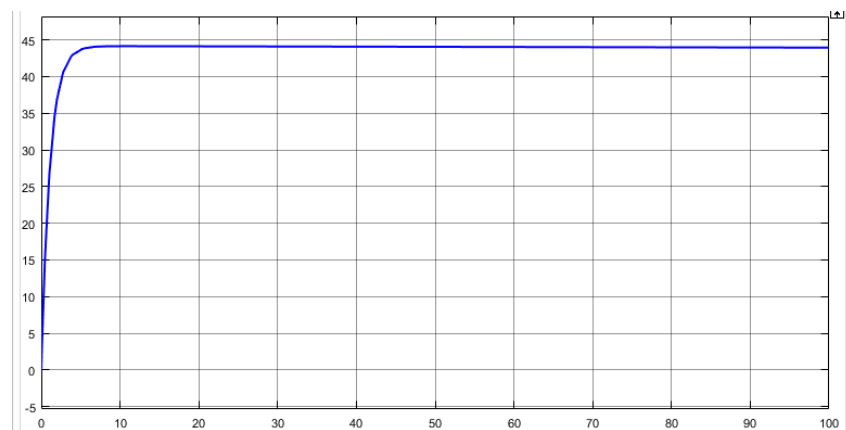


Рисунок 8.4 – Перехідна характеристика з ПІ-регулятором

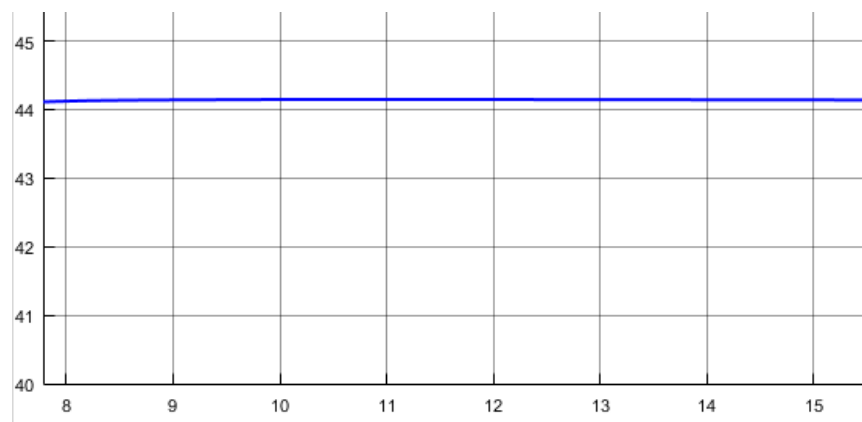


Рисунок 8.5 – Збільшений масштаб перехідної характеристики з рисунку 8.6

Як видно з вище наведених зображень перехідної характеристики з застосуванням ПІ-регулятора, температура встановилась на рівні 44, що перевищує необхідний рівень температури.

Тому проведемо аналогічні розрахунки, але вже із використанням ПД-регулятора. Схема наведена на рисунку 8.7. Тут D – диференціальна складова регулятора.

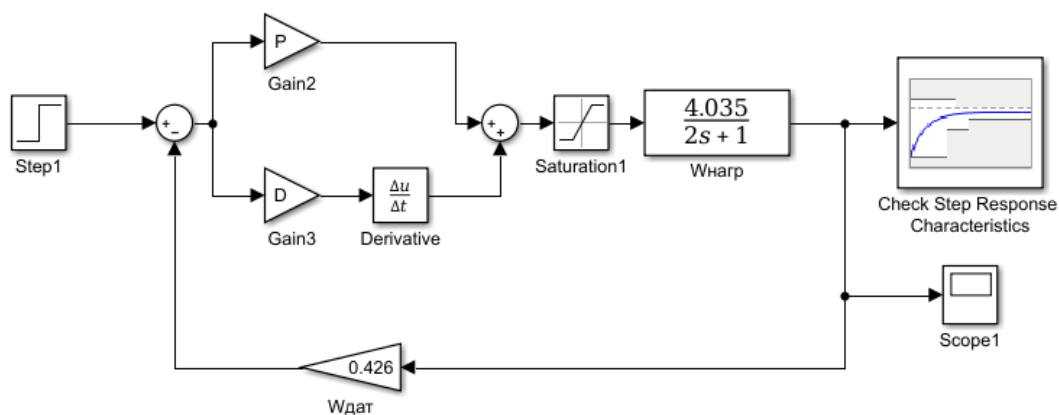


Рисунок 8.7 – Схема моделі з ПД-регулятором

Значення параметрів ПД-регулятора наступні:

$P = 0.48$, $D=0.49$.

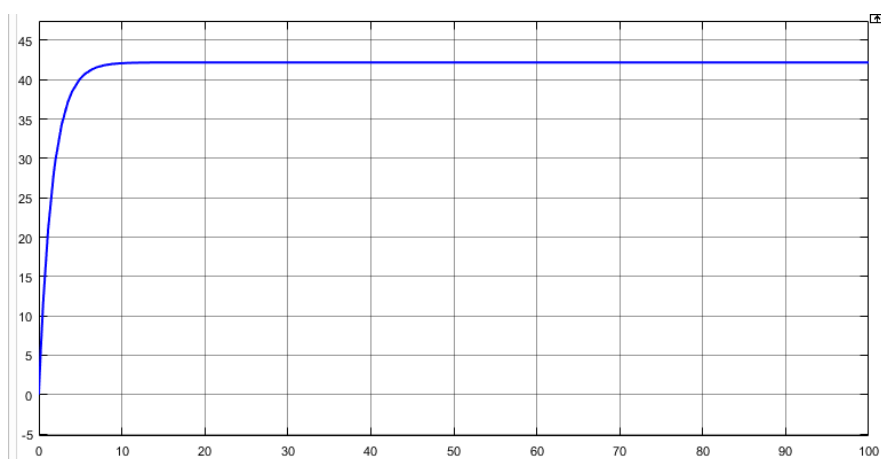


Рисунок 8.8 – Перехідна характеристика з ПД-регулятором

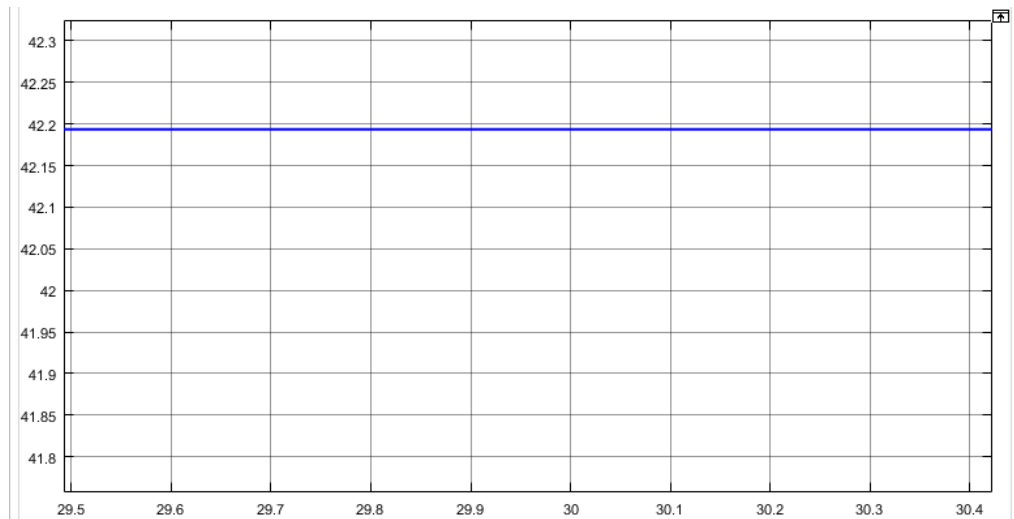


Рисунок 8.9 – Збільшений масштаб перехідної характеристики з рисунку 8.8

Для більш точного результату було проведено розрахунки ПД-регулятора, схема з ПД-регулятором наведена на рисунку 8.10.

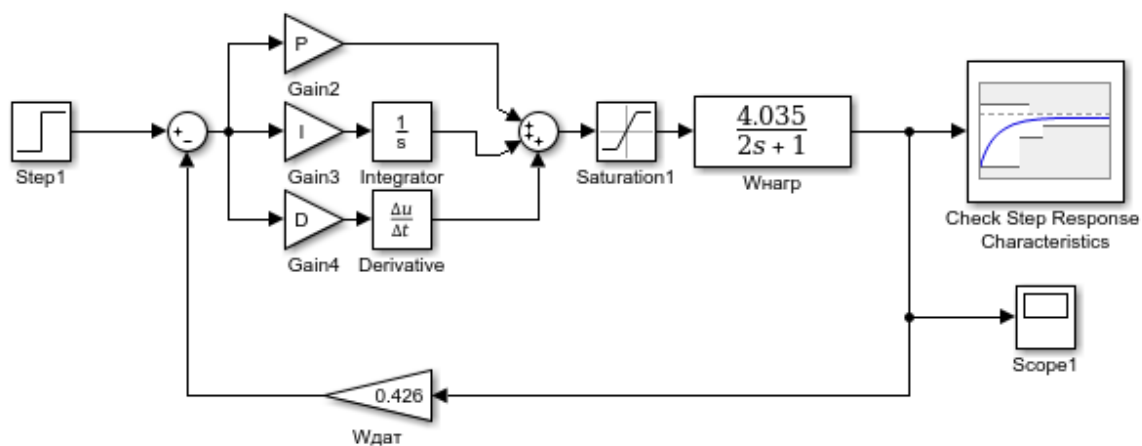


Рисунок 8.10 – Схема моделі з ПД-регулятором

Значення параметрів ПД-регулятора наступні:

$$P = 0.47, I = 5.08 \cdot 10^{-5}, D = -0.27.$$

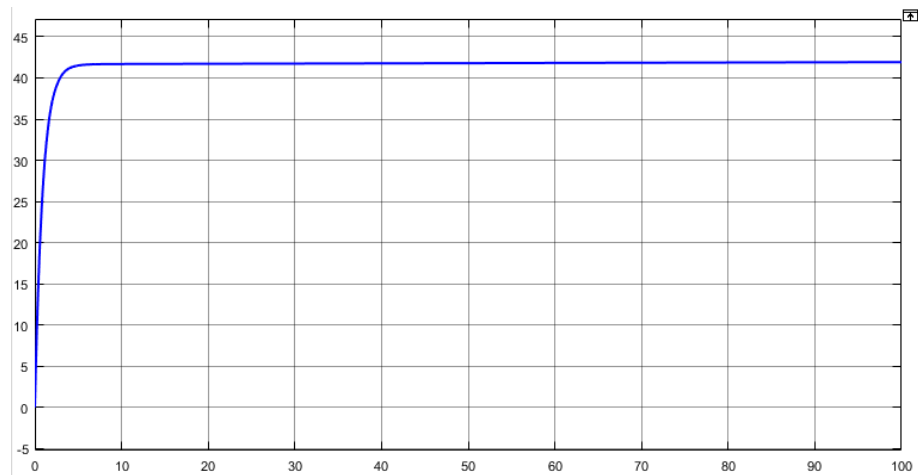


Рисунок 8.11 – Перехідна характеристика з ПІД-регулятором

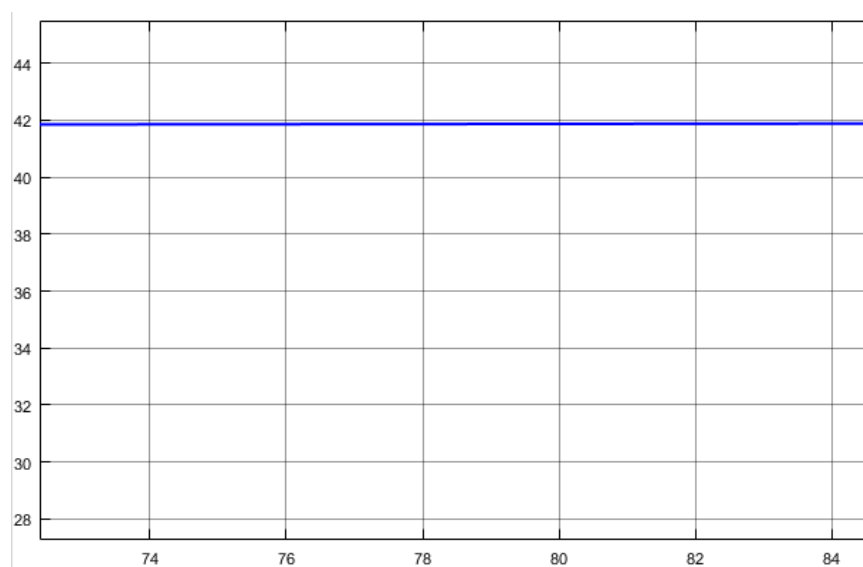


Рисунок 8.12 – Збільшений масштаб зображення перехідної характеристики з рисунку 8.11

Отже, з вище наведених рисунків 8.11 та 8.12 видно що перехідна характеристика стала краще, температура встановилась на необхідному рівні, тобто 42 і час встановлення зменшився.

Для перевірки роботи моделі з ПІД-регулятором до схеми було додано зовнішні збурення за допомогою блоку Random Number. Схема моделі зображена на рисунку 8.13.

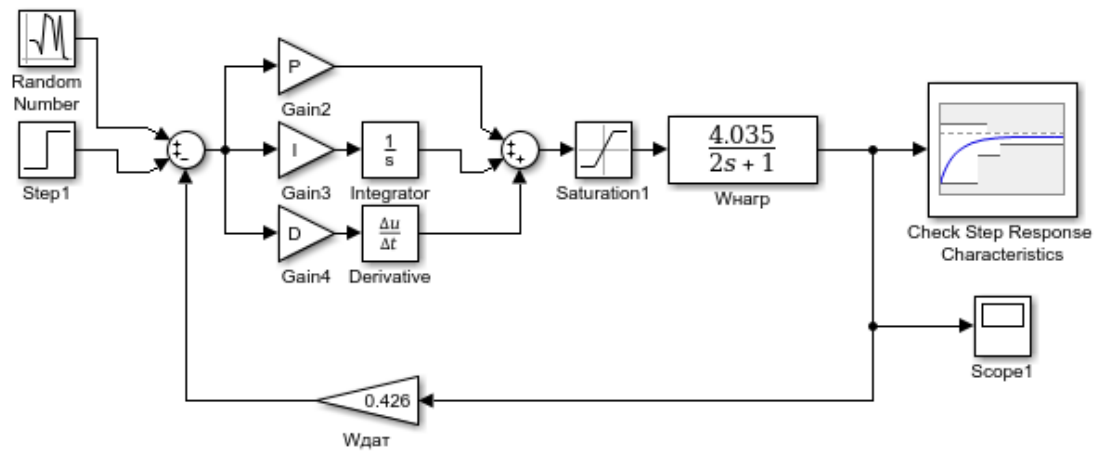


Рисунок 8.13 – Схема моделі зі збуренням

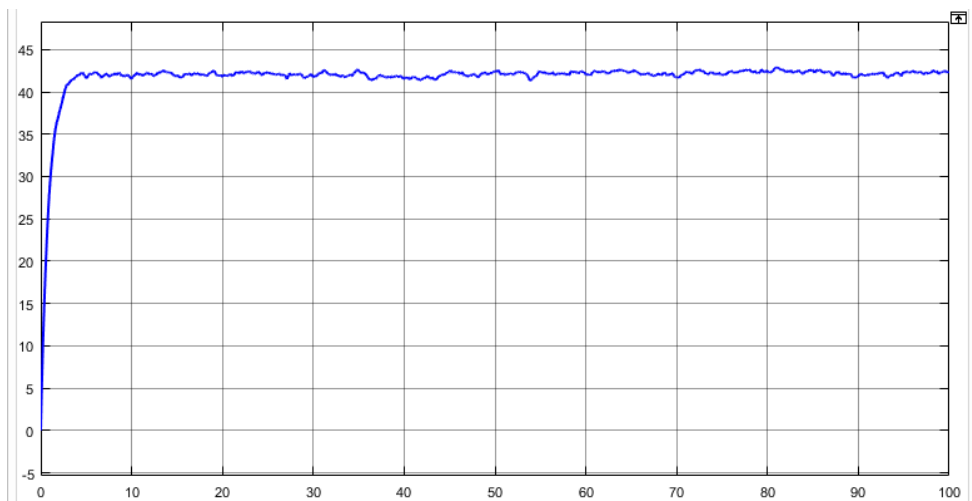


Рисунок 8.14 – Перехідна характеристика зі зовнішнім збуренням

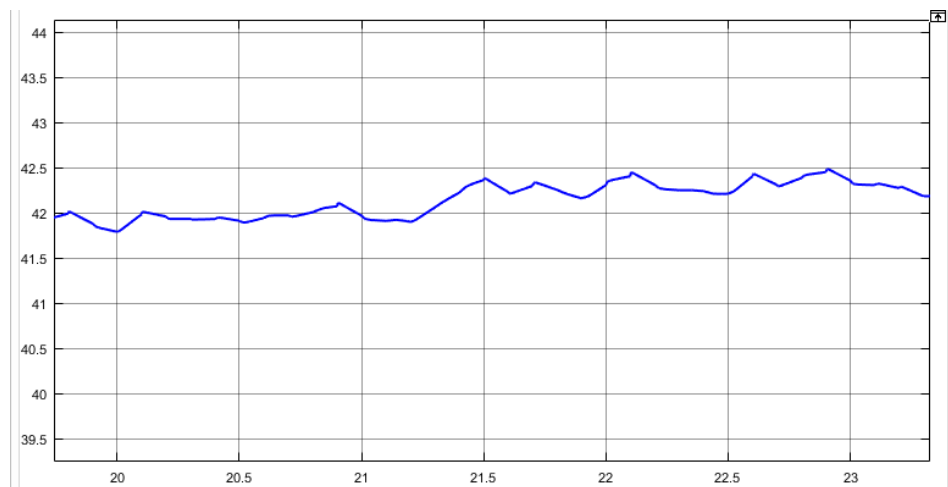


Рисунок 8.15 – Збільшений масштаб перехідної характеристики з
рисунку 8.14

Як видно з рисунку 8.14 та 8.15, зовнішнє збурення вплинуло на перехідну характеристику, але в результаті відхилення не більше ніж на 0.5 в обидві сторони, що припустимо в даній системі.

Отже, найкраще для регулювання температури в резервуарі підійде ПД-регулятор з такими складовими: пропорційна - 0.47, інтегральна – $5.08 \cdot 10^{-5}$, диференціальна – -0.27.

Як видно з графіків, також можна використати ПД-регулятор, хоч він і має трохи гіршу перехідну характеристику, на відміну від ПД-регулятора, проте отриманий результат знаходиться в допустимих межах. Але, на відміну від ПІ-регулятора, час встановлення виріс.

ПІ-регулятор показав найгірший результат перехідної характеристики серед отриманих, адже значення встановилось на рівні 44, хоча повинно встановитись на 42. Проте час встановлення менший ніж у ПД-регулятора.

ВИСНОВКИ

Задачею дипломного проекту було підвищення ефективності роботи лінії по виготовленню кисломолочних продуктів за рахунок автоматизації її технологічного процесу.

Перевагами проекту є простота реалізації та використання сучасних елементів системи.

В ході виконання роботи було описано технічні характеристики системи та область застосування. Також було описано технологічний процес підготовки молока та виготовлення йогурту та проведено огляд існуючих рішень для автоматизації технологічних процесів. Після цього було розроблено структурну яка включає в себе основні елементи системи та позначені зв'язки між ними. На основі структурної схеми було розроблено функціональну схему, на якій зображені функціональні елементи, датчики та виконавчі механізми. Після цього було підібрано окремі вузли та елементи.

Далі було розроблено алгоритм роботи системи і зображено його за допомогою блок-схем. Алгоритм розбито на три частини, в кожній описується окремий контур регулювання.

Після цього було проведено розрахунки регулятора для контуру регулювання температури в резервуарі. Згідно з розрахунків і отриманих графіків для підтримки температури на певному рівні найкраще підійшов ПІД-регулятор.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Опис технології виробництва йогурту [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/5200008/page:4/>
- 2) Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009.
- 3) Автоматизація технологічних процесів і систем автоматичного керування: Навчальний посібник/Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010.
- 4) Загальні технології харчових виробництв: Навчальний посібник/Домарецький В.А., Калакура М.М. – К.: Університет «Україна», 2010.
- 5) Теплофизические характеристики пищевых продуктов: Довідник/Гінзбург А.С. – М.: Пищевая промышленность, 1980.
- 6) Опис модульного контролера АХС 3050 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ua/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2700989&library=uauk&pcck=P-21-01-05&tab=1&selectedCategory=ALL#>
- 7) Функціональні схеми автоматизації. Розробка та оформлення: Навчальний посібник/Юрчук Л.Ю., Жеребко В.А. – К.: НТУУ «КПІ», 2011.
- 8) Технологія молока і молочних продуктів: Навчальне видання/Машкін М.І., Париш Н.М. – К.: Вища освіта, 2006.
- 9) Distributed architecture for controlling a manufacturing cell / Perez-Aragon J., Rectala G. – W.: IEEE International Conference on Systems, 2003.
- 10) Общая технология пищевых производств / Н.И. Назаров, А.С. Гинзбург, С. М. Гребенюк – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.

- 11) Основы математического моделирования процессов пищевых производств/ Остапчук Н. В. – К.: Высшая школа, 1991.
- 12) Опис датчиків компанії ОВЕН [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.owen.ru/catalog/sensor>.
- 13) Опис регулюючих клапанів [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.ovk-kom.ru/ldm_regul.html.